

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра хімічних технологій та хімічного машинобудування

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Євген ЗБИКОВСЬКИЙ
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2022 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

_____ Магістр

на тему: «Розробка заходів з підвищення ефективності системи
оберненого осмосу для очищення води»

Виконав: магістр 2-го курсу, групи ТПМм-21
спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки
сировинних матеріалів»

_____ Станіслав СТОВБУРОВ (прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Керівник <u>доц., к.т.н. Андрій ТОПОРОВ</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Консультант _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Рецензент _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)

*Засвідчую, що у цій
кваліфікаційній роботі немає
за-позичень з праць інших
авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет Машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра «Хімічних технологій та хімічного машинобудування» Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри:

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2022
року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Станіслава СТОВБУРОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Розробка заходів з підвищення ефективності системи оберненого осмосу для очищення води»

керівник роботи Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від „____” _____ 20__ р. № _____

1. Строк подання студентом 12.12.2022
2. Вихідні дані до роботи: середа проведення експериментів – вода, тиск – 0,2 МПа, температура – 20 С, матеріал – синтезовані наночастинки діоксиду кремнію, целюлозні мембрани з діаметром отворів 0.45 μm
3. Зміст розрахунково–пояснювальної записки: актуальність використання мембранного обладнання та аналіз проблем, способів очищення та оцінки забруднення; аналіз системи зворотного осмосу; експериментальні дослідження міри забруднення за допомогою сенсора; математична обробка отриманих результатів та моделювання процесу за допомогою прикладних програм.
4. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)
Презентація у форматі PowerPoint

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	26.09.2022	
2	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	10.10.2022	
3	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	24.10.2022	
4	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	14.11.2022	
5	Андрій ТОПОРОВ, доц., к.т.н	30.11.2022	
6	Валерій КУЦЕРУБОВ, доц., к.т.н		

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання теоретичної частини (Розділ 1)	26.09.2022	
2	Опис обладнання, теоретичні розрахунки (розділ 2)	10.10.2022	
3	Виконання експериментальних досліджень (розділ 3)	24.10.2022	
4	Математична обробка результатів експериментальних досліджень (розділ 4)	14.11.2022	
5	Чисельне моделювання результатів (розділ 5)	30.11.2022	
6	Підготовка презентації	19.12.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки	13.12.2022	

Студент _____ Станіслав СТОВБУРОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Андрій ТОПОРОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Стовбуров С.Д. Розробка заходів з підвищення ефективності системи оберненого осмосу для очищення води / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2022.

Дефіцит води є однією з найбільших загроз, яка існує для суспільства сьогодні, постійна нестача води буде відчуватися по всьому світу, тому очищення водного середовища є важливим питанням сьогодення. У роботі проведено аналіз та пошук можливих шляхів підвищення ефективності роботи системи зворотного осмосу, і основним напрямком дослідження теми магістерської роботи, було визначення кореляції між індексами забруднення та поточними вимірами оптичної щільності, на основі проведених експериментів було проведено математичну обробку результатів і опираючись на них, проведений аналіз з підвищення ефективності. Завдяки участі у програмі DAAD (Німецька служба академічних обмінів) на базі Технічного Університету міста Кайзерслаутерн (Німеччина) було проведено велику роботу із постановкою задач, та проведенням запланованих експериментів, на сучасному обладнанні в лабораторіях Технічного університету Кайзерслаутерна.

Метою роботи є аналіз шляху підвищення ефективності обладнання для фільтрації водного середовища, а також обґрунтування цих заходів.

Об'єкт дослідження – процес фільтрації, процес забруднення мембрани.

Предмет дослідження – підвищення ефективності обладнання для очистки водного середовища від забруднених наночастинок.

Методи дослідження – експериментальні дослідження, статистична обробка, чисельне моделювання в CFD.

МЕМБРАНА, ЗВОРОТНИЙ ОСМОС, ДІОКСИД КРЕМНІЮ, НАНОЧАСТИНКИ, MATLAB, SDI MFI ІНДЕКСИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

Список публікацій:

1. Стовбуров С.Д., Трет'яков П.В. Дослідження напружено–деформованого стану деталей гвинтового преса з використанням пакету прикладних програм Ansys та КОМПАС–3D // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 39 – 43
2. Стовбуров С.Д., Карпенко Д.В., Терещенко О.О., Топоров А.А. Застосування комплексного параметричного 3D моделювання при проектуванні штампової остастки та розробці конструкторської документації // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 36 – 39
3. Стовбуров С. Д., Карпенко Д.В., Топоров А.А , Розрахунок сопла лаваля для холодного газодинамічного наплення з порівнянням аналітичного методу та результатами розрахунків пакету програм ansys fluent // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VII Міжнародної науково–практичної конференції (Покровськ, 18–19 трав. 2021 р.) / Донецький національний технічний університет. – Покровськ : ДВНЗ «ДонНТУ», 2021. – с. 22 – 25
4. Стовбуров С.Д., Топоров А.А. Мfі та uv-vis вимірювання// Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VIII Міжнародної науково–практичної конференції (Луцьк, 25-26 жовт. 2022 р.) / Донецький національний технічний університет. – Луцьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2022. – с. 34-39
5. Стовбуров С.Д., Топоров А.А. Синтез наночасток діоксиду кремнію // Проблеми техніки і технології переробних виробництв: зб. тез доп. VIII Міжнародної науково–практичної конференції (Луцьк, 25-26 жовт. 2022 р.) / Донецький національний технічний університет. – Луцьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2022. – с. 30-33

ANNOTATION

Development of measures to improve the efficiency of the reverse osmosis system for water purification / Graduate qualification work for the degree of "Master" in specialty 133 Industrial Engineering (specialization "Technology of processing of raw materials.") – SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2022.

Water scarcity is one of the greatest threats that exists for human society today, a constant shortage of water will be felt around the world and for every living creature, so the purification of the aquatic environment is an important issue of our time. The work analyzed and searched for possible ways to improve the efficiency of the reverse osmosis system, and the main focus of the master's thesis was to determine the correlation between pollution indices and current measurements of optical density, based on the experiments carried out mathematical processing of the results and based on them, an analysis was carried out to improve efficiency. Thanks to the participation in the DAAD program (German Academic Exchange Service) at the Technical University of Kaiserslautern (Germany), a lot of work was done to set the tasks and conduct the planned experiments on modern equipment in the laboratories of the Technical University of Kaiserslautern.

The purpose of the work is to analyze the ways to improve the efficiency of equipment for filtration of water environment, as well as the justification of these measures.

Object of study – the filtration process, the process of membrane contamination and light absorption.

Subject of research – improving the efficiency of equipment for cleaning the water environment from contaminated nanoparticles.

Research methods – experimental research, statistical processing, numerical modeling in CFD.

MEMBRANE, REVERSE OSMOSIS, SILICA, NANOPARTICLES, MATLAB, SDI MFI INDICES, EFFICIENCY

List of publications:

1. Stovburov S.D., Tretiakov P.V. Investigation of the stress–strain state of the parts of the screw press using the Ansys and KOMPAS–3D application package // Problems of engineering and technology of processing industries: collection of abstracts of the VII International Scientific and Practical Conference (Pokrovsk, May 18–19, 2021) / Donetsk National Technical University – Pokrovsk: DonNTU, 2021. – c. 39 – 43
2. Stovburov S.D., Karpenko D.V., Tereshchenko O.O., Toporov A.A., Application of complex parametric 3D modeling in the design of die residue and development of design documentation // Problems of engineering and technology of processing industries: collection of abstracts of the VII International Scientific and Practical Conference (Pokrovsk, May 18–19, 2021) / Donetsk National Technical University: DonNTU, 2021. – c. 36 – 39
3. Stovburov SD, Karpenko DV, Toporov AA, Calculation of the lavalier nozzle for cold gas–dynamic spraying with a comparison of the analytical method and the results of calculations of the ansys fluent software package // Problems of engineering and technology of processing industries: collection of abstracts of the VII International Scientific and Practical Conference (Pokrovsk, May 18–19, 2021) / Donetsk National Technical University: DonNTU, 2021. – c. 22 – 25
4. Stovburov S.D., Toporov A.A. Mfi and uv-vis measurements // Problems of engineering and technology of processing industries: collection of abstracts of the VIII International Scientific and Practical Conference (Lutsk, October 25-26, 2022) / Donetsk National Technical University: DonNTU, 2022. - p. 34-39.
5. Stovburov S.D., Toporov A.A. Synthesis of silicon dioxide nanoparticles // Problems of engineering and technology of processing industries: collection of abstracts of the VIII International Scientific and Practical Conference (Lutsk, October 25-26, 2022) / Donetsk National Technical University: DonNTU, 2022. - p. 30-33.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ МЕМБРАННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ДЛЯ ОЧИСТКИ РІДИНИ.....	13
1.1 Актуальність використання мембранного обладнання для очистки водяного середовища	13
1.2 Обладнання для очистки рідини.....	16
2.1 Принцип дії зворотного осмосу	18
1.3 Сучасні методи підвищення ефективності обладнання по очищенню рідин-	20
1.3.1 Проведення оцінки водних ресурсів.....	21
1.3.2 Оцінка технологій.....	21
1.3.3 Проведення перевірки насосів	22
1.3.4 Впровадження розумних технологій	22
1.3.5 Аналіз даних.....	23
1.4 Аналіз способів забруднення мембран	24
1.5 Аналіз проблем, що виникають при забрудненні мембран	25
1.6 Аналіз способів очищення.....	27
1.7 Висновки до розділу	29
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ.....	30
2.2 Розрахунок фільтрації мулу	30
2.4 Висновки до розділу.....	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІРИ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРА.....	34
3.1 Математична модель проточної кювети	34
3.2 Нанорозмірні частинки	35
3.3 Теоретичні відомості створення наночастинок Діоксид кремнію	38
3.3.1 Метод Штобера	38
3.3.2 Синтез наночастинок Діоксид кремнію.....	38
3.4 Теоретичні аспекти аналізу наночастинок	42
3.4.1 Модифікований індекс щільності мулу	42

3.4.2	Закон Бугера–Ламберта–Бера.....	46
3.5	Методи аналізу наночастинок.....	49
3.5.1	Статичне розсіювання світла	49
3.5.2	UV/Vis Спектроскопія.....	51
3.6	Загальні відомості про установки та програми для проведення експериментів	55
3.6.1	Лазерний гранулометричний аналізатор розсіювання Horiba PLA–960	55
3.6.2	UV/Vis Спектрометр – SPECORD S 600	60
3.7	Постановка експериментів	61
3.7.1	Налаштування HORIBA LA 960	61
3.6.2	Налаштування UV/Vis Спектрометра SPECORD S 600	67
3.6.3	Опис експериментальної установки для вимірювань	70
4	МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ.....	74
4.1	Постановка задачі математичної обробки	74
4.2	Обробка даних вимірювання розміру наночастинок.....	74
4.3	Розробка програмного скрипту для SDI/MFI вимірювань.....	83
4.4	Розробка програмного скрипту для UV/Vis вимірювань.....	86
4.5	Аналіз результатів отриманих в системі MATLAB.....	89
4.6	Висновки до розділу.....	107
5	ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННОГО ФІЛЬТРА, ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ	108
5.1	Розробка геометричної моделі камери	108
5.1.1	Побудова моделі та задання початкових та граничних умов	108
5.1.2	Опис отриманих результатів	111
5.2	Опис конструкційних змін у системі зворотного осмосу	113
5.3	Обґрунтування результатів після змін у системі зворотного осмосу	114
5.4	Висновки та напрями підвищення ефективності	117
6	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	118
	ВИСНОВКИ	129
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	130

ДОДАТОК А.....	133
----------------	-----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- A – площа поперечного перерізу, площа фільтруючого елемента, м^2 ;
- a – опір пористого середовища;
- a_H – опір мулу відносно товщини мулу, м^{-2} ;
- a_m – стійкість мулу відносно сухої маси, м/кг ;
- B – константа повзучості;
- β – опір середовища, що фільтрує, м^{-1} ;
- C – константа повзучості;
- c – концентрація суспензії;
- C_v – концентрація твердих речовин у відсотках від загального об'єму;
- d_h – гідравлічний діаметр пор пористої структура;
- d_{pore} – діаметр капіляра, м ;
- d_s – Середній діаметр частинок за Саутером, м ;
- E – електростатичний потенціал на твердих тілах;
- ε – пористість пористого середовища;
- H – висота мулу;
- K_H – пропорційність об'єм кеку/об'єм фільтрату, $\text{м}^3/\text{м}^3$;
- K_m – пропорційність маса мулу/об'єм фільтрату, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- K_N – пропорційність кількість частинок/об'єм фільтрату, м^{-3} ;
- k – проникність фільтруючого пирога;
- L – відстань від вхідного торця фільтра шару, м ;
- λ – Коефіцієнт заповнення глибинних засипних фільтрів, м^{-1} ;
- η – в'язкість, $\text{Нс}/\text{м}^2$;
- p_L – тиск в рідині, Па ;
- c_v – концентрація твердих речовин як частина від загального об'єму;
- V – об'єм фільтрату, м^3 ;
- $\dot{V}$ – об'ємна витрата, $\text{м}^3/\text{год}$;
- V/A – питома витрата або швидкість фільтрації.

ВСТУП

Водопідготовка є важливою вимогою промисловості і поділяється на 4 основні галузі, які включають підготовку котлової води, підготовку охолоджувальної води, очищення води та очистку стічних вод. Вважається, що вони охоплюють більшість процесів водопідготовки на міжнародному рівні.

Однак водопідготовка може бути надзвичайно корисною для вашого бізнесу не в останню чергу тому, що вона може заощадити десятки тисяч на рік на операційних витратах, а також завдяки зменшенню витрат на технічне обслуговування може підвищити ефективність і продуктивність.

Існують різні типи фільтрованої води, але всі вони пропонують основи процесу очищення води. Це стосується води, яка була очищена від шкідливих хімічних речовин, пестицидів, бактерій та інших частинок, які забруднюють воду. Усе залежить від того, звідки спочатку надходить вода, як вона очищується, а також від якості водопровідних труб. Наприклад, старі системи фільтрації води, які використовують свинцеві труби, можуть бути шкідливими для остаточного розсіювання води через вимивання свинцю з труб у воду.

Впровадження в технологічний процес є проектування фільтраційних систем, що дозволяє встановити необхідну кількість обладнання під необхідні санітарні умови, та підібрати види та типи апаратів для досягнення встановлених законом концентрацій. Ефективність фільтрації повністю залежить від вибору обладнання та своєчасного обслуговування. Вирішенням поставленої задачі є підвищення ефективності фільтрації системи зворотного осмосу, методи якої були знайдені на базі проведення експериментів, моделювання, та прийняття технічних рішень.

Завдяки участі в рамках програми DAAD (Deutscher Akademischer Austausch Dienst) висловлюю окрема подяка професору та доктору технічних наук Сергію АНТОНЮКУ за допомогу у проведенні експериментів з метою дослідження процесу визначення кореляції між індексами забруднення та поточними вимірами оптичної щільності.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ МЕМБРАННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ДЛЯ ОЧИСТКИ РІДИНИ

1.1 Актуальність використання мембранного обладнання для очистки водяного середовища

Дефіцит води є однією з найбільших загроз, яка існує для людського суспільства сьогодні, постійна нестача води буде відчуватися по всьому світу та для кожної живої істоти. Дуже маленький відсоток води у світі придатний до споживання, близько трьох відсотків, причому два відсотки від цієї кількості знаходиться у льодовиках.

Важливість води настільки велика, що влади країн почали розробляти нові проекти та технології для пом'якшення її впливу на населення планети.

Ці заходи включають у себе: опріснення води, збір дощової води, очищення стічних вод і перенесення водних ресурсів.

Водопідготовка – це процес усунення шкідливих забруднень з води, для забезпечення безпечного споживання людиною та тваринами. Для того щоб переконатися, що після очистки параметри води дотримуються санітарних норм, процес ділять на кілька етапів:

Попередня фаза – використання великих фільтрів для видалення великих неорганічних, твердих матеріалів, наприклад папір, пластик та метал.

Усунення мулу та піску є абразивним для машин, тому проводять первинне відстоювання для видалення твердих органічних матеріалів.

Фазу мулу, де є мікроорганізми, використовують для розчинення органічних твердих речовин, а отримана біомаса декантується.

Наступною фазою є видалення шкідливих патогенних мікроорганізмів шляхом використання хімічних речовин (хлору).

Кінцевим продуктом виступає прісна вода, яка придатна для споживання людиною.

Водопідготовка допомагає нам досягти екологічної стійкості наступними способами [1]:

1. Зменшення відходів від виробництв.

Водопідготовка зменшує обсяг відходів, які потрапляють у екосистему. При очищенні стічних вод кількість відходів, що потрапляють до навколишнього середовища значно зменшується, що призводить до загального покращення стану навколишнього середовища.

Таким чином, зменшуючи забруднення навколишнього середовища, водопідготовка допомагає зменшити небезпеку для здоров'я живих істот, яка виникає через забруднене довкілля.

Зменшуються втрати води, які буди спричинені забрудненням води. Очищення води має фінансову вигоду, через те, що воно скорочує обсяг грошей, що використовуються країнами для відновлення забрудненого середовища.

2. Виробництво енергії.

Микроорганізми (бактерії) у фазі осаду використовуються для розщеплення органічних речовин і виробництва великої кількості біомаси.

У цьому процесі бактерії змішуються з органічними речовинами та поміщаються у спеціальні біологічні метатенки, які потім піддаються впливу середніх температур, близько 35 градусів С. У цей час утворюється біогаз. У біогазі знаходиться великий відсоток метану, який може бути використаний для виробництва енергії для живлення комплексу з водопідготовки. Якщо ж енергія буде отримуватися у значних обсягах, можна підключити її до національної електромережі країни.

Перевагу цієї енергії важко переоцінювати, бо у наслідок її отримання значно зменшується надмірна залежність від невідновлюваних джерел енергії, таких як деревина, деревне вугілля, нафта та звичайне вугілля. Опираючись на дослідження можна сказати, що ефективна водоочисна станція може виробляти сорок відсотків від загальної кількості енергії, потрібної для нормального функціонування виробництва.

3. Джерело чистої води.

Ресурси у світі скорочуються загрозливими темпами, наявні водні ресурси не можуть забезпечити прогнозоване зростання населення в найближчі роки. Очищення води забезпечить баланс між попитом та пропозицією води.

4. Виробництво добрив.

Біомаса, яка виробляється у наслідок мулової фази, відстоюється і висушується – це перетворює її на органічне добриво. Сучасна тенденція зараз, полягає у тому, щоб менше використовувати хімічні добрива у сільському господарстві. Це з'явилося через те, що присутність хімікатів має довгострокові наслідки для споживачів.

Таким чином, водопідготовка відіграє важливу роль у видаленні з води забруднюючих речовин (приблизно дев'яносто сім відсотків), які можуть бути надзвичайно шкідливими при споживанні. У навколишнє середовище не потрапляють шкідливі бактерії, які в іншому випадку мали б шкідливий вплив на тварин, рослини та людей. Стічні води також містять шкідливі хімічні речовини, які, потрапляючи в навколишнє середовище, знищують форми життя флори і фауни[2].

Процес водопідготовки має багато переваг, що робить його життєздатним в довгостроковій і короткостроковій перспективі як відповідь на водну кризу, що охопила світ сьогодні, яка продовжує множитися одночасно зі збільшенням чисельності населення планети.

Математичні моделі прогнозують, що в найближчі кілька років населення планети збільшиться до дев'яти мільярдів осіб. Це неминуче призведе до збільшення обсягів утворення стічних вод, що робить водопідготовку критично важливим аспектом збереження та сталого розвитку довкілля. Розширення сектору очищення стічних вод дозволить виробляти велику кількість прісної води та сприятиме зниженню рівня дефіциту водних ресурсів.

1.2 Обладнання для очистки рідини

Для великих об'ємів води вимагається певна автоматизація цього процесу. У побуті очисні системи спрямовані тільки на очищення вхідної води, промислові ж фільтрують и вихідну воду через велике сполучення у водах токсичних сполук. Припинення очищення води легко може призвести до екологічної катастрофи.

Через водну нестачу популярним методом є перецеркуляція води, тобто повторне її очищення. Цей процес поширений у будівництві, теплоенергетиці тощо.

Гідроциклони та сепаратори – перший етап очищення промислових вод. Вони запобігають залишку у водному середовищі часток піску, іржі, металу тощо. Мають високу надійність та просту конструкцію, при тому дуже ефективні.

Сітчасті сепаратори менш ефективні за гідроциклони, але кращі при використанні з низьким тиском. Також плюсом у дискових сепараторах є те, що в ньому використовуються пластмасові деталі, які запобігають появленню корозії.

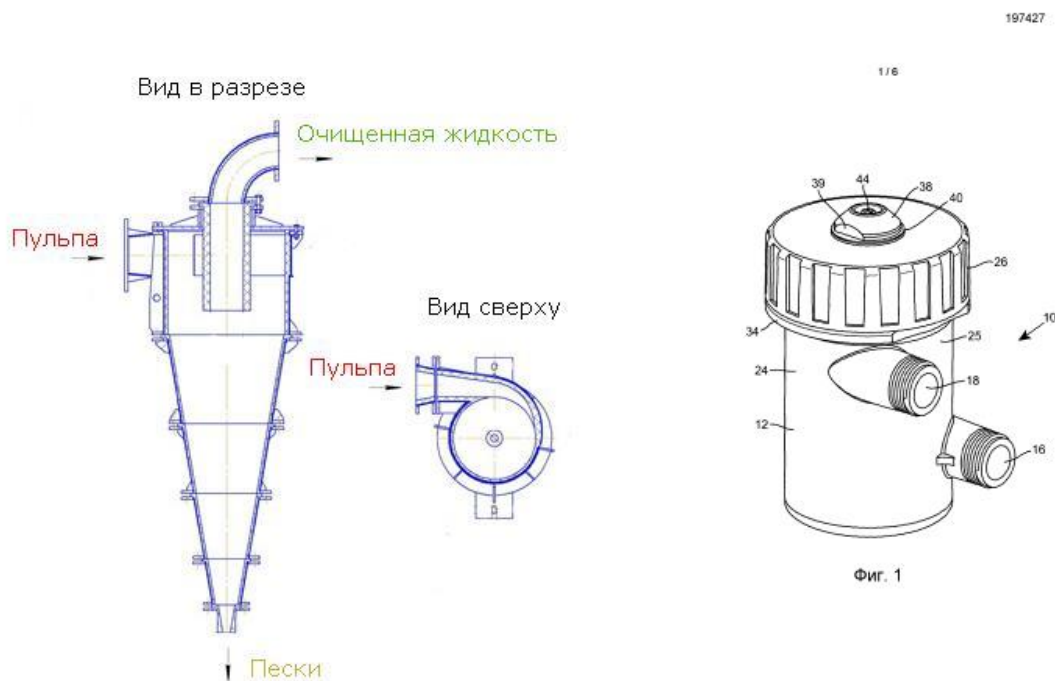


Рисунок 1.5.1 – Загальний вид гідроциклону та сепаратору

Жирові уловлювачі є найпростішими розбірними конструкціями. Їх використовують для очистки води у харчових. Мають достатньо велику ефективність очищення.

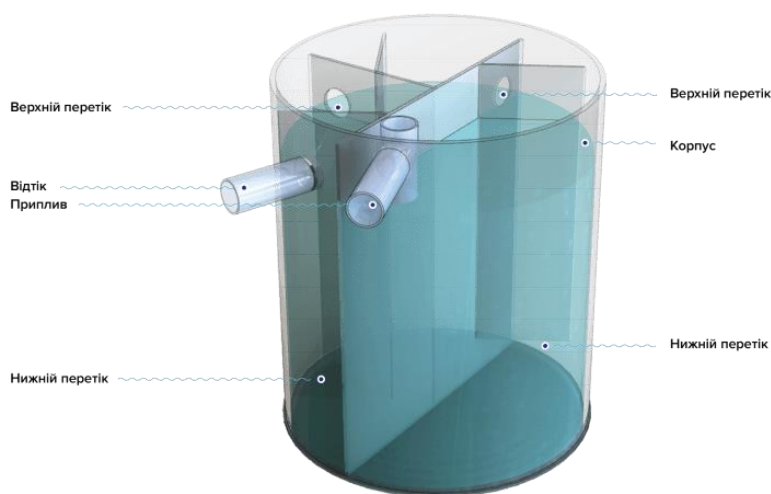


Рисунок 1.5.2 – Загальний вид жируловлювача

Для зниження жорсткості води та очистки її від солей застосовують пом'якшувачі води. Цей шлях очистки використовує іонний обмін, виморожування та випарювання, у наслідок цього вода демінералізується та набуває широкого застосування у нагрівальному обладнанні.



Рисунок 1.5.3 – Загальний вид пом'якшувача води

Найбільш щадним методом є ультрафіолетове знезараження, воно вбиває мікроорганізми не застосовуючи хімічні домішки. Чим потужніше випромінювання, тим краще буде очищення.

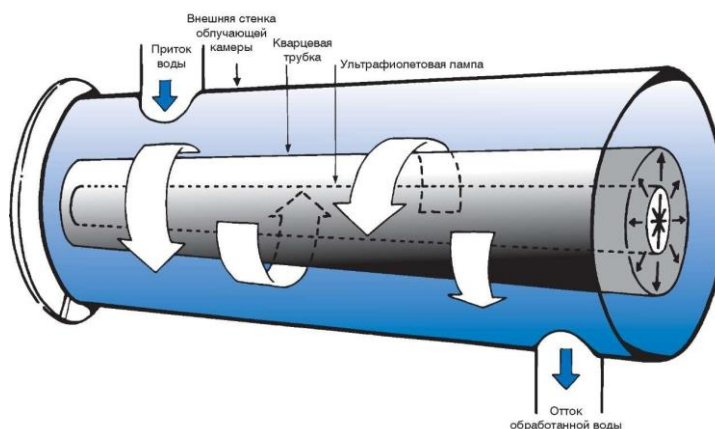


Рисунок 1.5.4 – Загальний вид ультрафіолетового обеззаражувача

Після перших етапів очищення застосовують адсорбційні системи, що засновані на осіданні залишкових домішок на поверхні пористих матеріалів.

Для видалення не цінних органічних сполук застосовують окислювальні або відновлювальні реакції.

У біологічних методах очистки мікроорганізми поїдають органічні сполуки, цей метод був взятий з природного методу оновлення водного середовища.

Основним методом очищення промислових вод є хлорування води. Люди використовують системи хлорування навіть вдома, цей метод працює з усіма перерахованими методами видаляючи велику кількість домішок.

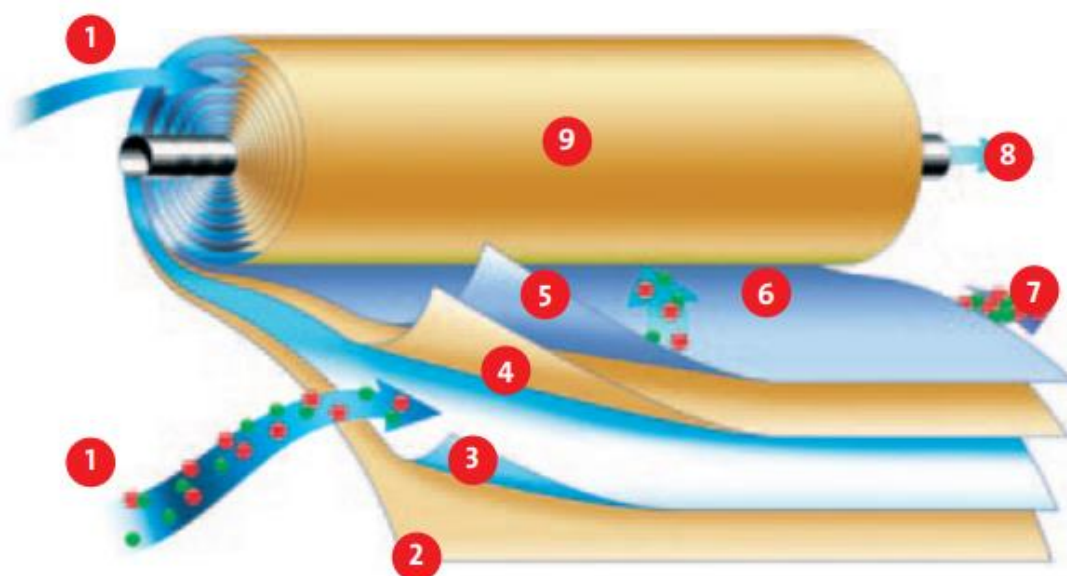
Кожний етап має свої цілі та вимоги. Тому існує дуже багато методів очищення води.

2.1 Принцип дії зворотного осмосу

Зворотний осмос – це метод фільтрації, який використовує особливі властивості мембран зворотного осмосу для запобігання проходженню широкого спектру домішок у високому ступені, значно очищаючи живильну воду.

Зворотньоосмотичні мембрани запобігають проходженню у воді забруднень, ефективний діаметр яких перевищує 0,1 нм. Зазвичай вони видаляють понад 90% іонних забруднень, більшість органічних сполук і практично всі тверді частинки. Видалення неіонних забруднень з молекулярною масою (ММ) <100 дальтон може бути низьким. Воно збільшується при більш високих ММВ і, теоретично, молекули з ММВ >300 Дальтон, включаючи частинки, колоїди, мікроорганізми і великі біологічно активні молекули, будуть відкидатися повністю. Розчинені гази не видаляються.[14]

Під час зворотного осмосу живильна вода прокачується через вхідну сторону мембрани зворотного осмосу під тиском (зазвичай 4–15 бар, 60–220 фунтів на квадратний дюйм) в режимі перехресного потоку. Зазвичай 15–30% живильної води проходить через мембрану у вигляді пермеату, а решта залишається на вході і виходить у вигляді потоку концентрату, який містить більшість солей, органічних речовин і, по суті, всі тверді частинки.



1 – джерело забрудненої води; 2 – зворотньоосмотична мембрана; 3 – розподільувач подачі; 4 – зворотньоосмотична мембрана; 5 – розподільувач продукту; 6 – пермеат; 7 – концентрат; 8 – пермеат; 9 – спірально навивний зворотньоосмотичний модуль

Рисунок 2.1 – Принцип роботи фільтруючої мембрани

Мембрани зворотного осмосу (рисунк 2.1), як правило, є тонкоплівковими поліамідними і стабільні в широкому діапазоні рН, однак вони можуть бути пошкоджені окислювачами, такими як хлор, і забруднені органічними речовинами або колоїдами, тому для захисту мембрани зазвичай необхідна попередня обробка. Мембрани вимагають відносно високого тиску для подолання протитиску; щоб максимізувати площу поверхні, мембрани зазвичай намотуються в кілька шарів по спіралі, як показано на схемі. Якщо швидкість регенерації води занадто висока, підвищені концентрації важкорозчинних солей жорсткості призведуть до блокування мембрани.

Великою перевагою зворотного осмосу є дуже широкий спектр домішок, які він видаляє. Крім зниження навантаження на наступні технології очищення, він також захищає їх від забруднення і засмічення великими органічними молекулами, наприклад, гуміновими і фульвокислотами, і повністю відкидає мікроорганізми і віруси, присутні в живильній воді.

1.3 Сучасні методи підвищення ефективності обладнання по очищенню рідин

На тлі глобальної водної кризи тиск на муніципалітети щодо ефективного очищення води є більшим, ніж будь-коли. Оператори водоочисних станцій повинні регулярно аналізувати ефективність очищення води та забезпечувати роботу систем із застосуванням найефективнішого обладнання та технологій. Коли водоочисні споруди працюють неефективно, це може коштувати надзвичайно дорого.

Поєднання неефективного та застарілого насосного та технологічного обладнання у поєднанні із застарілими методами управління водними ресурсами може призвести до збільшення експлуатаційних витрат та зменшення доходів, що може негативно вплинути на фінансовий результат очисних споруд. П'ять кроків, викладених нижче, можуть допомогти водоочисним станціям досягти кращої

ефективності використання води та реалізувати потенційну економію коштів за рахунок зменшення втрат води.

1) Проведення оцінки водних ресурсів

Порівняльний аналіз став ключовою практикою в галузі для встановлення, просування та досягнення цільових показників ефективності.

Це не тільки допомагає керівникам та регуляторам визначити історичні тенденції, але й допомагає визначити сьгоднішні базові показники та кількісно оцінити відносну ефективність роботи комунальних підприємств для планування на завтрашній день та на перспективу.

2) Оцінка технологій

Озброївшись розумінням ефективності поточної практики водопостачання, наступним кроком є оцінка технології, що використовується для виробництва води.

Наприклад, більшість станцій очищення поверхневих вод мають процес фільтрації води, який може легко споживати велику кількість води та енергії. З цієї причини важливо провести технологічний аудит, щоб переконатися, що інфраструктура працює ефективно. Технологія фільтрації, яка потребує меншої кількості промивної води, стала звичною на сучасному ринку, але інфраструктура водоочисних споруд, яка існує вже п'ять–десять років, може використовувати більшу кількість промивної води, ніж це необхідно.

Аналогічна оцінка може і повинна застосовуватися до інших водоспоживаючих процесів, таких як видалення осаду з систем флоатації розчиненим повітрям (DAF) або стічних вод з басейнів флокуляції, відстоювання або прояснення.

Об'єднані стічні води з етапу флокуляції, відстоювання або освітлення та зворотного промивання фільтрів проходять етап згущення осаду для вилучення твердих речовин з рідини.

Якщо звичайний процес згущення осаду працює при вмісті твердих речовин від 0,5 до 3%, фахівці можуть розглянути можливість переходу на технологію, що дозволяє отримувати осад із вмістом твердих речовин понад 6%.

Модернізація до процесу осаду високої щільності не тільки призводить до зменшення втрат води, але й дозволяє водоочисним станціям отримувати вигоду від менших обсягів осаду, що може знизити витрати на утилізацію осаду.

3) Проведення перевірки насосів

Багато технологічних процесів, що використовуються для води, пов'язані з використанням насосів. Традиційною практикою, особливо на станціях, яким десять років і більше, є проектування насосів на основі пікового потоку станції, тоді як насправді ці насоси працюють при змінному потоці, що залежить від сезонності та потреб системи. З цієї причини багато насосів є надмірно великими.

Насоси з постійною швидкістю, які працюють в режимі вмикання та вимикання, використовують більше води, ніж потрібно, що призводить до втрат води та енергії. З цієї причини заводи повинні модернізувати свої насоси з постійною швидкістю обертання частотно-регульованими приводами (ЧРП), щоб зменшити втрати води та енергоспоживання і уникнути зносу насосів від багаторазового вмикання та вимикання.

Використання частотно-регульовані приводів може зменшити споживання енергії насосом на 50%, що також означає зменшення споживання води.

4) Впровадження розумних технологій

Що стосується практики управління водними ресурсами, то водоочисні споруди повинні розглянути можливість впровадження інтелектуальних технологій обліку для моніторингу своєї розподільчої мережі.

Це може звести до мінімуму неприбуткові втрати води. Інтелектуальні технології, такі як рішення автоматизованого зняття показань лічильників (AMR) та вдосконалена інфраструктура обліку (AMI), допомагають комунальним підприємствам оцінювати ефективність роботи та оптимізувати свою інфраструктуру.

AMR автоматично збирає інформацію про споживання, діагностику та стан лічильників води без необхідності ручного зняття показань, таким чином спрощуючи та підвищуючи точність збору даних.

Ця інформація в поєднанні з аналітикою може допомогти комунальним підприємствам та їхнім клієнтам краще управляти водокористуванням.

АМІ дозволяє комунальним підприємствам приймати рішення на основі продуктивності та аналітики майже в режимі реального часу.

Це більш надійне рішення, ніж AMR, яке включає інтелектуальні лічильники, комунікаційні мережі та системи управління даними, що забезпечують двосторонній зв'язок між комунальними підприємствами та споживачами.

Стратегічне розгортання технологій AMR та АМІ є ефективним способом оптимізації роботи. Завдяки даним, зібраним за допомогою цих систем, комунальні підприємства можуть звітувати за кожну краплю води.

5) Аналіз даних

Останнім кроком є доступ до даних та їх аналіз для оцінки ефективності роботи інфраструктури та визначення того, які корективи необхідні для подальшого підвищення ефективності.

Оскільки багато водоочисних споруд були встановлені без особливої уваги до збору даних, керівникам очисних споруд важливо переконатися, що вони вимірюють і контролюють правильні параметри ефективності.

Основні параметри ефективності включають моніторинг витоків у розподільчій мережі, витрати води для зворотного промивання, пов'язані з якістю роботи фільтрів, темпи згущення осаду та інтелектуальну роботу насосів з використанням частотно-регульованих приводів.

Оператори водоочисних станцій повинні постійно оцінювати свої практики управління водними ресурсами, щоб забезпечити ефективну роботу станції, мінімізуючи таким чином витрати на електроенергію та покращуючи зусилля з водозбереження.

1.4 Аналіз способів забруднення мембран

Процес, при якому забруднення відкладаються на поверхні мембрани або ж у прокладці подачі мембрани та блокують проходження рідини через неї визначаємо як забруднення мембрани[3].

Одними з основних причин забруднення мембран являють собою:

- 1) Зважені тверді частинки. Наприклад мул, алюміній, марганець та залізо.
- 2) Накип. Проблема з'являється при насиченні та закупорені мембрани такими речовинами, як діоксид кремнію, сульфат барію, карбонат кальцію
- 3) Органічні забруднення. Природні органічні речовини, що містяться в поверхневих водах, викликають забруднення поверхні мембрани або розпірки подачі. Природні органічні речовини поверхневих вод,
- 4) Біологічні: бактерії та органічні відкладення можуть розвиватися на поверхні мембран, зменшуючи потік пермеату.

Існують різні форми забруднення, з якими може зіткнутися ваша мембрана. Нижче наведені основні забруднення/накип, які можна очікувати побачити при розтині мембрани:

1) Колоїдне/часткове забруднення

Ця форма забруднення виникає, коли колоїдний матеріал або зважені частинки осідають на поверхні мембрани або в кутах розпірки подачі. Коли ці колоїдні частинки накопичуються, вони створюють шар, який перешкоджає проникненню води.

Це часто викликано наявністю зважених речовин і небіологічних частинок у живильній воді, особливо якщо вона надходить з поверхневих вод.

Якщо ви хочете краще зрозуміти ризик колоїдного/часткового забруднення вашої системи, розгляньте можливість вимірювання каламутності живильного потоку, кількості частинок та індексу щільності мулу. Ці вимірювання мають важливе значення для здоров'я вашої мембрани та належної роботи процесу зворотного осмосу.

2) Мікробне / біологічне забруднення

Мікробне/біологічне забруднення відбувається, коли рослини, водорості, мікроорганізми або інші живі забруднювачі осідають і розмножуються на поверхні вашої мембрани.

- 3) Біологічні забруднення мембрани процвітають у помірному середовищі з недостатньою швидкістю потоку. Вони можуть прилипати до поверхні мембрани і розмножуватися, виділяючи позаклітинну полімерну речовину (EPS), також відому як біоплівка.
- 4) Біоплівка – це шар гелю, який має хімічні властивості, що викликають поверхневе забруднення, що призводить до зменшення потік через процес зворотного осмосу. В результаті може спостерігатися значне підвищення тиску, зменшення потоку через мембрану та збільшення перепаду тиску, що призводить до надмірних витрат енергії.
- 5) Опади або накип. Накип виникає, коли важкорозчинні солі концентруються в потоці розсолу в процесі зворотного осмосу. Це призводить до того, що іонні компоненти осідають на поверхні мембрани.

Якщо ви володієте системами NF/RO, які мають більш високі коефіцієнти відновлення і схильні до ризику утворення накипу.

- 6) Органічне забруднення. Цей тип забруднення відбувається, коли матеріали на основі вуглецю накопичуються на поверхні мембрани або в каналах подачі. Органічний матеріал містить суміші на основі вуглецю, які зазвичай містяться в поверхневих водах і ґрунті. Вони часто є результатом розкладання тваринного і рослинного матеріалу.

1.5 Аналіз проблем, що виникають при забрудненні мембран

Процес мембранного розділення зазвичай залежить від використання напівпроникних мембран. Мембрани вважаються технологією перехресного потоку, де потік корму проходить через поверхню мембрани, а невелика кількість води проникає через поверхню мембрани. Коли відбувається забруднення

мембрани, воно обмежує потік води через мембрану і крізь неї. Це часто призводить до гідравлічного дисбалансу і викликає зниження загальної продуктивності. Також можна зіткнутися з підвищеним споживанням енергії і навіть пошкодженням мембран.

Ознаки забруднення мембрани

1) Збільшення диференціального тиску

Диференціальний тиск – це перепад тиску між сировиною і концентратом на напівпроникній мембрані. У міру забруднення мембрани перепад тиску буде збільшуватися через мембрану.

Якщо забруднення прилипає до мембрани, в результаті буде потрібно більш високий тиск для отримання цільової кількості фільтрату. Коли перепад тиску збільшується, у ваших системах може відбуватися забруднення мембрани, і її слід очистити.

2) Зменшення потоку фільтрату

Потік фільтрату визначає кількість фільтрату, що утворюється під час мембранного розділення за одиницю часу та площу мембрани зворотного осмосу. Наприклад, 10 літрів на хвилину означає швидкість потоку 10 літрів на хвилину на квадратний сантиметр площі поверхні мембрани. Коли ви відчуваєте зниження потоку пермеату, це чітко вказує на забруднення мембрани.

3) Погіршення якості води

Якщо ваші мембрани погано відштовхують сіль, причиною може бути забруднення. Іноді погана якість води може бути симптомом поганих методів попередньої обробки, зміни якості живильної води та температури.

Тому обов'язково перевірте склад забруднень, оскільки він може дати деякі підказки.

Якщо забруднення є колоїдними, може допомогти очищення та покращення попередньої обробки. Але якщо погане відторгнення солі відбувається одночасно зі збільшенням робочого або диференціального тиску, ваша мембрана може зазнавати накипу або забруднення.

4) Сильні запахи та пліснява

Якщо ви відчуваєте неприємні запахи від ваших мембран, можливо, вони мають біологічне забруднення. Біологічний ріст може викликати сильні, неприємні запахи у вашій системі мембранної фільтрації. На поверхні мембрани фільтра може утворюватися слиз.

1.6 Аналіз способів очищення

Забруднення мембрани є оборотним процесом. Нижче наведено кілька способів запобігання забрудненню мембрани у вашій системі.

1) Планове очищення

Регулярне очищення за допомогою спеціальних засобів може допомогти запобігти накопиченню забруднень на мембрані. Переконайтеся, що ви запланували регулярне очищення для досягнення оптимальних результатів.

Стратегії очищення мембрани можуть відрізнятися в залежності від типу забруднень і конструкції системи зворотного осмосу. Методи очищення, які ви можете використовувати, включають[9].:

1) Механічне очищення

Механічне очищення передбачає використання фізичної сили для того, щоб забруднення відшарувалися від мембрани і вимилися з системи.

Це робиться за допомогою насоса низького тиску. Зазвичай процес очищення виконується за допомогою розчину з низьким і високим рівнем рН, підбраного для видалення забруднень або накипу на поверхні мембрани.

2) Хімічне очищення

Цей тип очищення використовує спеціально розроблені миючі засоби, які можуть видалити накип і відкладення твердих частинок, що осідають на поверхні мембрани. Хімічні засоби для чищення повинні бути обрані на основі типу наявних забруднень, а процедури повинні відповідати унікальному процесу зворотного осмосу. Рекомендується поетапне очищення, щоб уникнути поганих результатів очищення через неадекватну динаміку потоку.

3) Попередня обробка

Оскільки RO / NF є мембранним процесом, вони більш схильні до забруднення мембрани, якщо їх не обробляти належним чином. Щоб уникнути цього, треба використовувати процес попередньої обробки, який захистить ваші інвестиції в мембрану, виходячи з типу вихідної води, яку ви обробляєте.

Варіанти попередньої обробки можуть включати: процеси флокуляції, седиментація (гравітаційне відстоювання), мультимедійна фільтрація (MMF) і коагуляція в разі наявності колоїдних частинок, мембранний процес UF/MF, гранульоване активоване вугілля (GAC) для видалення хлору або органічних речовин, бісульфіт натрію для видалення залишкового хлору, регулювання pH для запобігання утворенню накипу (за необхідності), антискалант для інгібування утворення накипу та диспергування частинок на поверхні мембрани.

4) Конструкція системи

Забруднення мембрани також можна запобігти завдяки якісному проектуванню та конструюванню. Багато факторів впливають на забруднення мембрани і відіграють певну роль у належному функціонуванні системи. Щоб запобігти забрудненню мембрани, треба враховувати ці фактори при встановленні системи.

5) Вибір мембрани

Потрібно вибирати мембрану, яка найкраще підходить для вашого технологічного процесу та умов води. Використовувати мембрану для солонуватої води для поверхневих і колодязних вод з концентрацією нижче 10 000 TDS і мембрану для морської води для застосування в морській воді.

Деякі інші властивості, які слід враховувати: діапазон допуску pH для очищення, необхідна специфікація відторгнення солей, номінальна швидкість потоку відповідно до вимог процесу.

6) Умови експлуатації

Добре спроектована система балансує такі змінні, як pH, температура, робочий тиск і швидкість потоку. Це підвищує ймовірність того, що забруднюючі речовини не будуть накопичуватися на поверхні мембрани.

1.7 Висновки до розділу

Проблеми водопідготовки можна вирішити за допомогою експертного управління об'єктами, щоб захистити і клієнта, і сам об'єкт від збитків, зіпсованої репутації та порушень нормативних вимог.

При правильному управлінні бактеріями і технічному обслуговуванні, а також відмінному веденні обліку, моніторингу та навчанні персоналу, об'єкти можуть використовувати відмінні ресурси, доступні для них, щоб домінувати в своїй галузі в якості експертів з водопідготовки.

2.2 Розрахунок фільтрації мулу

Перепад тиску в фільтрі складається з перепаду тиску Δp_1 на пірозі згідно рівнянню і перепаду тиску Δp_2 на фільтруючому середовищі, що можна записати у вигляді[15]:

$$\Delta p_2 = \beta \cdot \eta \cdot \left(\frac{\dot{V}}{A} \right);$$

де β (одиниця m^{-1}) – опір фільтруючого середовища.

Таким чином, загальний перепад тиску дорівнює

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = a_H \eta \cdot H \cdot \beta \eta \left(\frac{\dot{V}}{A} \right);$$

Або

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = a_m \eta \cdot \frac{m \cdot V}{A^2} \cdot \beta \eta \left(\frac{\dot{V}}{A} \right);$$

Якщо суспензія однорідно перемішана, висота шару H (або m/A) буде пропорційна кількості фільтрату. Вплив концентрації концентрації та пористості осаду описується коефіцієнтом K_H :

$$K_H = \frac{c_v}{(1 - \varepsilon)} = \frac{H \cdot A}{V}$$

Або

$$K_m = \frac{m}{V}$$

де m представляє масу частинок у фільтрувальному кеку шарі, яка не залежить від шару пористості. З цих рівнянь отримуємо:

$$\Delta p = \frac{a_H \eta K_H}{A^2} \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{\beta \eta}{A} + \frac{dV}{dt};$$

Або

$$\Delta p = \frac{a_m \eta K_m}{A^2} \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{\beta \eta}{A} + \frac{dV}{dt};$$

Рівняння тотожні при узагальненні $a_H \cdot K_H = a_m \cdot K_m$. Проте, як би там не було, різниця між обома рівняннями незважаючи на це, відмінність між обома рівняннями є корисна для ясності.

Часто дуже корисно побудувати графік миттєвого опору потоку як функцію кількості заповненості. Опір характеризується попереднім падінням D_p , пов'язаним з миттєвою швидкістю потоку dV/dt .

Це рівняння записати як:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{a_H \eta K_H}{\Delta p A^2} \cdot V + \frac{\beta \eta}{\Delta p A} = \frac{a_m \eta K_m}{\Delta p A^2} \cdot V + \frac{\beta \eta}{\Delta p A} = b \cdot V + a$$

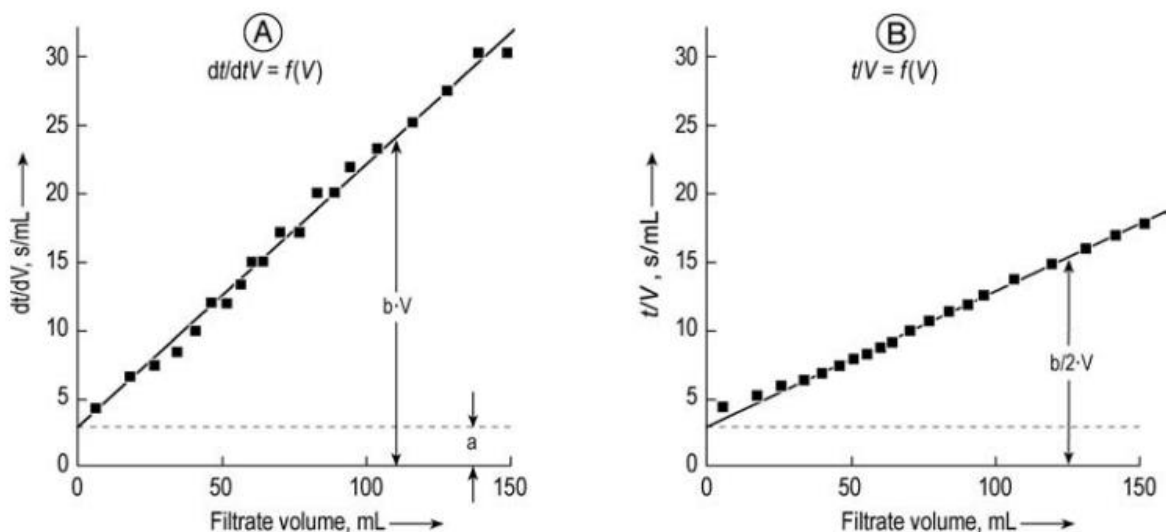


Рисунок 2.2 – А) Лінійний графік в диференціальній формі; Б) Лінійний графік в інтегральній формі

Відомі або визначені наступні параметри:

Фільтраційний тиск = $p = 2 \text{ бар} = 20^5 \text{ Н/м}^2$

Площа фільтрації = $A = 4,7 \text{ см}^2 = 4,7 \times 10^{-4} \text{ м}^2$

Висота шару = $H_e = 0.2 \text{ мм}$

Маса кеку = $m_e = 2$ г

Об'єм фільтрату = $V_e = 15000$ см³

Фактори концентрації розраховуються за формулою:

$$K_m = \frac{m_e}{V_e} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{150000 \cdot 10^{-6}} = 0.0013 \frac{kg}{m^3}$$

Основне рівняння MFI дозволяє розрахувати специфічний опір фільтруючого шару:

$$MFI = \frac{\eta \cdot a \cdot C_b}{2 \cdot \Delta p \cdot A^2}$$

Звідки

$$a = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4.7^2}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}} = 0.0084 \frac{kg}{m^3}$$

Опір середовища фільтра можна розрахувати:

$$\beta = a \cdot \frac{\Delta p \cdot A}{\eta} = 3.6 \cdot 10^6 \cdot \frac{20^5 \cdot 4.7 \cdot 10^{-4}}{10^3} = 54.14 \cdot 10^{11} m^{-1}$$

$$c_v = \frac{A \cdot H_e \cdot (1 - \varepsilon)}{V_e} = K_m \cdot (1 - \varepsilon) = 0.0078$$

2.4 Висновки до розділу

Звичайні фільтри для води фізично затримують частинки бруду і відкладень з води розміром приблизно в один мікрон, але не видаляють розчинені хімічні речовини. У зворотному осмосі використовується полімерна мембрана, яка фільтрує воду на молекулярному рівні і видаляє розчинені хімічні речовини і солі, які не може видалити звичайний фільтр. У звичайному фільтрі вся вода проходить через фільтр, в кінцевому підсумку забиваючи його, чого не скажеш про фільтр зворотного осмосу. Завдяки своєму принципу роботи, поверхня мембрани зворотного осмосу залишається чистою від забруднень. Це значно подовжує термін служби мембрани і забезпечує чистоту відфільтрованої води.

Таким чином визначено та проаналізовано принцип фільтрації. Принцип дії фільтрувальної мембрани базується на осадженні та прилипанні частинок у водному середовищі. В розділі також виконано теоретичний розрахунок фільтрату.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІРИ ЗАБРУДНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРА

Цілю експерименту було відслідкувати кореляцію між модифікованим індексом замулення та втрати світлового пучка за допомогою UV/Vis спектрометра та розробленого сенсора, а саме кювети, яка поміщають у спектрометр. Для отримання кращих умов були синтезовані наночастинки.

3.1 Математична модель проточної кювети

Вхідні данні для розрахунку

Модуль пружності скла $E = 588 \text{ МПа}$

Допустимі напруження скла $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$

Коефіцієнт запасу стійкості $n_y = 2.4$

Коефіцієнт наведеної довжини $\mu = 2.0$

Зовнішній діаметр труби $D = 23 \text{ мм}$

Товщина стінки труби $s = 4.0 \text{ мм}$

Розрахункова довжина труби $L = 200 \text{ мм}$

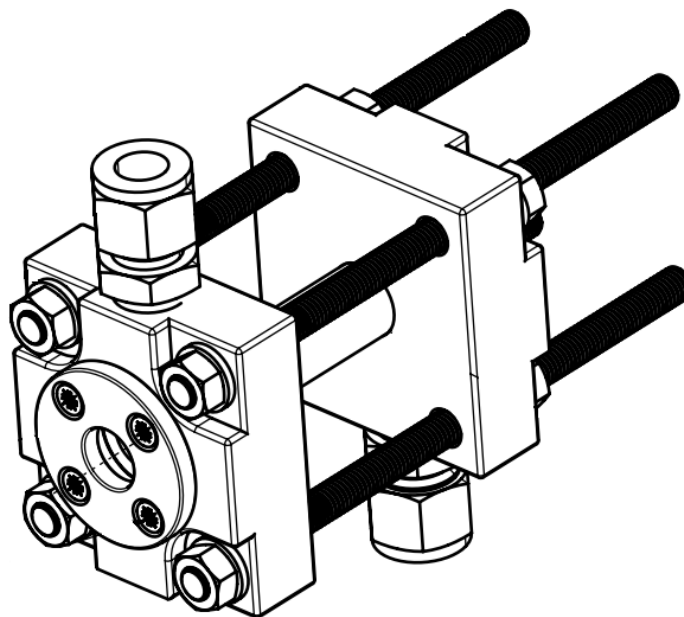


Рисунок 2.3 – Загальний вид проточної кювети

Допустимий внутрішній тиск, що допускається

$$[p_v] = 2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot \frac{s}{(D - s)} = 2 \cdot 60 \cdot 0,65 \cdot \frac{4}{(23 - 4)} = 16,4 \text{ Мпа}$$

Коефіцієнт навантаження за внутрішнім тиском

$$k_{\text{нрв}} = \frac{p_v}{[p_v]} = \frac{2}{16,4} = 0,12$$

Таким чином визначаємо, що кювета доступна для використання бо $p_v < [p_v]$.

3.2 Нанорозмірні частинки

Колоїд визначається як однорідна, некристалічна речовина, в якій нерозчинні частинки дисперговані в іншій речовині. Колоїди присутні в багатьох сучасних продуктах повсякденного вжитку, таких як фармацевтичні препарати, косметичні засоби та продукти харчування, але вони також були частиною людського життя протягом тисячоліть. Малюнки кам'яного віку в печерах Ласко у Франції були виконані стабілізованими колоїдними пігментами, стародавні вавилонські таблички описують приготування колоїдних чорнил, а єгипетські ієрогліфи зображують мул (колоїд) на дельті Нілу[16].

Наночастинки стають все більш важливою і популярною технологією в багатьох сферах сучасного суспільства. Ми бачимо ці системи в текстилі, комп'ютерних системах і, що найважливіше для суспільства, у фармацевтиці. Перші фармацевтичні препарати на основі наночастинок були схвалені в 1990-х роках, а в 2007 році FDA опублікувало Звіт робочої групи з нанотехнологій, визначивши нанотехнологію як здатність вимірювати, бачити, маніпулювати і виробляти речі, як правило, розміром від одного до ста нанометрів. Нанорозмірні частинки – це просто новий термін для позначення колоїдів.

За роки, що минули з того часу, було схвалено багато фармацевтичних препаратів на основі наночастинок, і наночастинки все ще інтенсивно

досліджуються для цільової доставки ліків, підвищення розчинності та біодоступності, а також контрольованого терапевтичного вивільнення.

При утворенні колоїдної дисперсії між частинками і дисперсійним середовищем створюється поверхня розділу фаз. Наявність інтерфейсу призводить до таких ефектів, як капілярність, тобто тенденція середовища рухатися в результаті натягу, і адсорбція, тобто процес, за допомогою якого частинки прилипають до поверхні. Ці два явища відіграють значну роль у поведінці колоїдних дисперсій в системах доставки лікарських засобів, і на них сильно впливають, в тому числі, специфічні властивості частинок системи: розмір частинок, форма частинок, поверхневий заряд.

Розподіл частинок за розміром (PSD) безпосередньо впливає на біодоступність активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) і безпеку внутрішньовенних ліпідних емульсій. Як і суспензії, колоїдні дисперсії також містять ряд розмірів, які визначають PSD.

Для приготування колоїдних дисперсій використовуються дві процедури. У дисперсійному методі, або методі "зверху вниз", частинки розподіляються в середовищі шляхом подрібнення і виснаження за допомогою різних методів подрібнення. За допомогою цього методу середній розмір частинок може бути досить малим, але PSD, як правило, є широким. При конденсаційному, або "висхідному", методі окремі молекули об'єднуються, утворюючи агрегати. Отриманий PSD набагато вузький, ніж при дисперсному методі, але дисперсії, утворені таким чином, схильні до дозрівання Оствальда – процесу, при якому менші частинки з часом переосаджуються на більші.

Коли розмір частинок АФІ зменшується, площа поверхні збільшується в геометричній прогресії, і частинки демонструють більш високе співвідношення площі поверхні до об'єму. Більша площа поверхні дозволяє меншим частинкам АФІ мати більшу взаємодію з навколишньою водою та вищу швидкість розчинення в організмі людини. Наприклад, така логіка застосовується до розчинення кубиків цукру в порівнянні з цукровою пудрою. Оскільки цукрова пудра має значно більшу площу поверхні, вона набагато швидше розчиняється у чаї або каві.

Крім того, коли матеріал руйнується, внутрішня поверхня стає відкритою, що призводить до зміни кількості або типу поверхневих хімічних ділянок і груп. Розглянувши це на частинці куба розміром 1 см^2 , лише дві або три молекули з 10 мільйонів є "поверхневими" молекулами.

Однак при поділі на частинки розміром 10 нм більше молекул/атомів, що складають молекулярну структуру, стають "поверхневими", і співвідношення зростає майже до 1:4. При розмірі частинок 1 нм 80% атомів знаходяться на поверхні. Значне збільшення площі поверхні також впливає на взаємодію між частинками та властивості системи, такі як реологія суспензії, покриття та адгезія. Загалом, менші частинки розчиняються швидше і, отже, демонструють вищу біодоступність.

Асиметрія частинок також є фактором, що має велике значення у визначенні загальних властивостей колоїдних систем. Форма є функцією історії формування частинок, тобто кристалізації. Хоча точна форма може бути набагато складнішою, колоїдні частинки можна приблизно класифікувати як: корпускулярні (сферичні та еліпсоїдні), ламінарні (дископодібні або пластинчасті), лінійні (стрижнеподібні або голкоподібні) або випадкові спіралі, що характерно для глобулярних білків, таких як альбумін і глобулін.

Багато АФІ існують у вигляді паличкоподібних або голкоподібних частинок. Високомолекулярні матеріали, такі як білки, полісахариди та синтетичні полімери, зазвичай існують у вигляді довгих ниткоподібних або розгалужених молекул. Ці матеріали часто демонструють значну механічну міцність і довговічність, неможливу для корпускулярних або ламінарних частинок⁶. На їх форму впливають умови розчину, такі як температура, рН, концентрація солі/електроліту та діапазон конфігурації. Це визначає, чи будуть вони діяти як стабілізатор або дестабілізатор дисперсії частинок.

3.3 Теоретичні відомості створення наночастинок Діоксид кремнію

3.3.1 Метод Штобера

Численні дослідницькі проекти, спираючись на метод Штобера, зосереджувалися на контроль, передбачуваність, оптимізацію та розширення діапазону застосування цього методу. У ході досліджень був виявлений вплив різних концентрацій аміаку, води, тетраетилтортосилікату (ТЕОС) та температури на діаметр частинок.

Крім того, були досліджені різні добавки, та було показано, що за допомогою них можна впливати на пористість частинок.

На розмір і морфологію частинок також може впливати використання поверхнево-активних речовин. При занадто високих концентраціях поверхнево-активних речовин могли утворюватися агрегати. Для синтезу великих частинок, розроблено методику росту. У цьому процесі отримують сферичні частинки кремнезему відповідно до процесу Штобера і використовуються як посівні частки. Згодом суміш ТЕОС і води або ТЕОС і етанолу, який додається шляхом інтервального додавання або безперервного додавання таким чином, що частинки продовжують зростати[16].

На сьогоднішній день метод Штобера продовжує розвиватися з метою розширення сфери застосування методу. Наприклад, використовуються металеві, оксидні, люмінесцентні та флуоресцентні наночастинки інкорпоровані в частинки діоксиду кремнію. Виробництво наночастинок "ядро-оболонка" з діоксиду кремнію також розширює сферу застосування.

3.3.2 Синтез наночастинок Діоксид кремнію

Для отримання наночастинок діоксиду кремнію використовується модифікований процес Штебера.

Для цього 70 мл співрозчинника етанолу або ізопропанолу додають у тригорлу круглодонну колбу на 250 мл. До цього додається необхідний об'єму води та 25 % розчину аміаку. Це призводить до того, що постійне значення рН приблизно 10. Наповнена тригорла круглодонна колба закупорюється з лівого та правого боку скляною пробкою. До середнього отвору кріпиться змійовик–охолоджувач, який конденсує пару, що утворюється при нагріванні.

Потім тригорлу круглодонну колбу занурюють у водяну баню за допомогою лабораторної підйомної платформи, на якій розташована магнітна мішалка. Датчик температури, підключений до нагрівальної плити, який вимірює температуру у водяній бані.

Розчин нагрівають до необхідної температури (25 °C – 80 °C). Завдяки високій теплопровідності скла тригорлої круглодонної колби і сприятливого відношення поверхні до об'єму розчину, можна припустити однорідний розподіл температури на водяній бані і в тригорлій круглодонній колбі. Крім того це дозволяє здійснювати гомогенне перемішування при 900 об/хв протягом всього експерименту.

На рисунку 3.1 показана схема експериментальної установки.

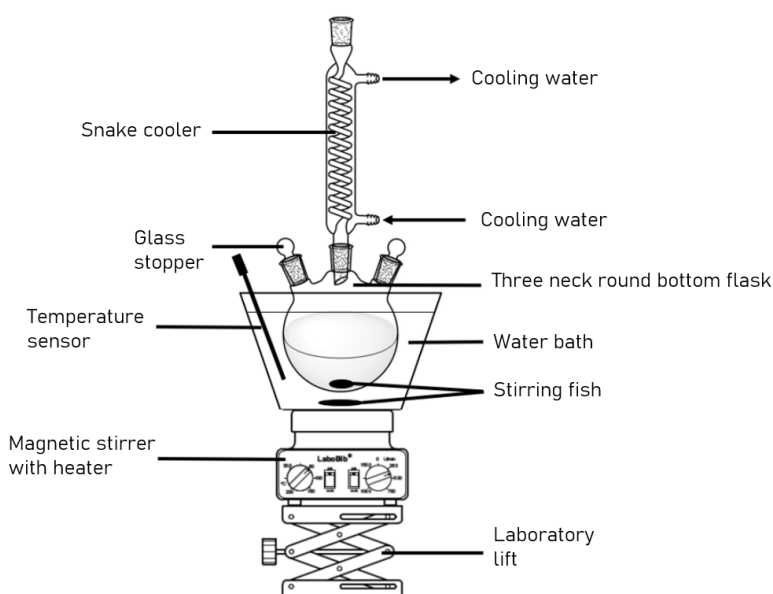


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки для створення наночаток

Як тільки водяна баня і розчин досягнуть необхідної температури реакції, слід швидко додавати до розчину 6 мл тетраетилтортосилікат.

Особливістю цього заходу стало те, що модифікований процес Штобера полягає в додаванні тетраметилетилендіамін в якості додаткового каталізатора.

В результаті двох додавань, спочатку відбувається гідроліз, а потім реакція конденсації, в результаті якої утворюються і ростуть ядра. Таким чином утворюються сферичні частинки діоксиду кремнію. Розмір та кількість утворених частинок залежить, зокрема, від кількості доданих хімічних речовин та встановленої температури.

Внаслідок утворення частинок помітно збільшується опалесценція розчину. Розчин має вигляд злегка блакитнуватої каламуті. Після додавання усіх елементів реакційну суміш витримують при відповідній температурі реакції протягом однієї години.

Потім реакцію зупиняють і суспензію очищають. З цією метою реакційний розчин спочатку переносять в одnogорлу круглодонну колбу. Це пов'язано з підключенням до цифрового ротаційного випарника RV 10 фірми ІКА. Вакуум генерується за допомогою вакуумного насоса. Будова роторного випарника показана на рисунку 3.2.

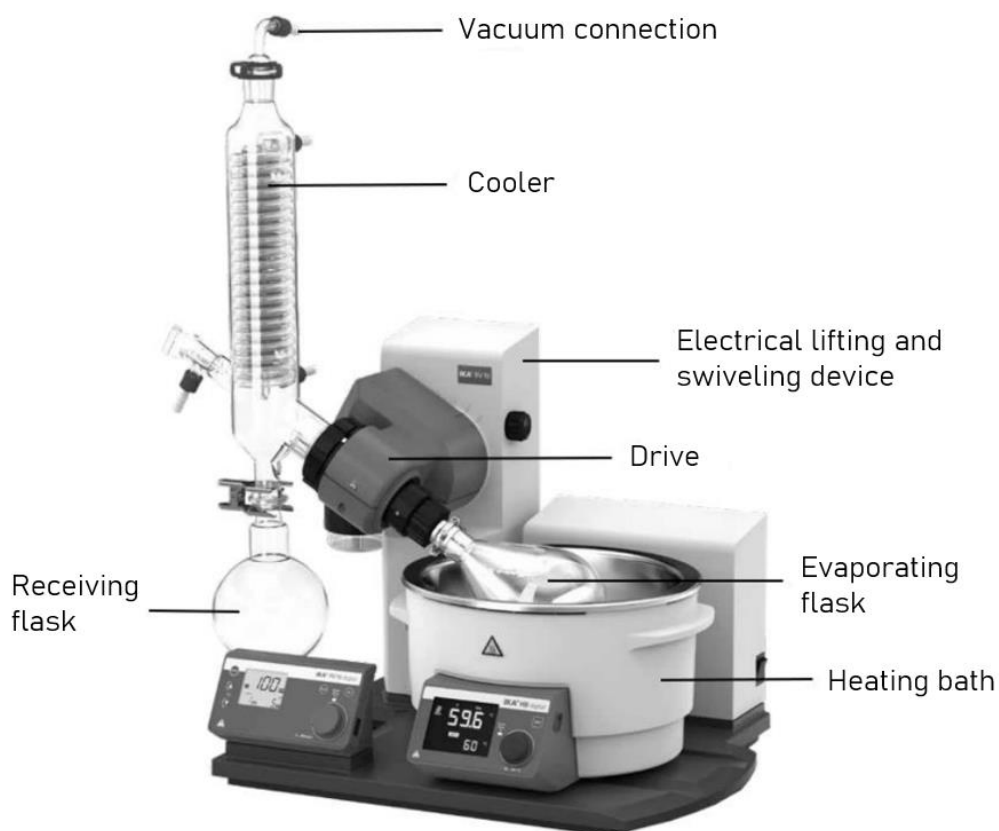


Рисунок 3.2 – Роторний випарник

Реакційний розчин нагрівають до 40 °C на водяній бані, заповненій водою і за рахунок застосування вакууму спочатку випаровується аміак. Реакція зупиняється випаровуванням каталізатора. Зі збільшенням під дією вакууму співрозчинник випаровується, конденсується при охолодженні і збирається в збірну колбу. Під час випаровування слід уникати затримки закипання.

Очищення здійснюється шляхом додавання води та подальшим випаровуванням частини води. Це забезпечує, що співрозчинник був повністю видалений і частинки, таким чином, розчиняються виключно у воді. Під час процесу випаровування необхідно стежити за тим, щоб не вся вода випаровується і частинки залишаються диспергованими у воді, оскільки в сухому стані частинки агломеруються і вже не можуть бути відокремлені один від одного через сильні адгезійні сили. Частинки, розсіяні у воді, можна потім аналізувати різними способами для визначення їх розміру і форми.

3.4 Теоретичні аспекти аналізу наночастинок

3.4.1 Модифікований індекс щільності мулу

Забруднення мембрани є основною причиною зниження потоку пермеату і втрати якості продукту в системах зворотного осмосу (RO), тому боротьба з забрудненням домінує при проектуванні та експлуатації систем зворотного осмосу. Джерела забруднення можна розділити на чотири основні категорії: накип, мул (зокрема, мул), бактерії (біологічне забруднення, ріст бактерій) та органічне забруднення (нафта, мастила).

Контроль за забрудненням включає в себе попередню обробку живильної води для мінімізації забруднення, а також регулярне очищення для боротьби з забрудненням, яке все ж таки відбувається. Забруднення твердими частинками (мулом), бактеріями та органічними речовинами, як правило, найбільше впливає на перші модулі установки. Відкладення накипу відбувається гірше при більш концентрованих розчинах корму, тому останні модулі в установці піддаються найбільшому впливу, оскільки вони піддаються впливу найбільш концентрованої живильної води.

Мул складається із зважених часток всіх типів, які накопичуються на поверхні мембрани. Джерелами мулу є органічні колоїди, продукти корозії заліза, осадовий гідроксид заліза, водорості і тонкодисперсні речовини.

Вимірювання індексу щільності мулу є широко прийнятим методом оцінки швидкості, з якою колоїдні та часткові забруднення будуть відбуватися в системах очищення води, особливо з використанням мембран зворотного осмосу (RO) або нанофільтрації.

SDI – це вимірювання потенціалу забруднення суспендованих твердих частинок. Він не вимірює кількість конкретної речовини, оскільки розмір і форма змінюються. Каламутність – це вимірювання кількості зважених речовин. Вони не є однаковими, і між ними немає прямої кореляції. Однак, з практичної точки зору, мембрани показують дуже незначне забруднення, коли вихідна вода має

каламутність < 1 NTU. Відповідно, мембрани демонструють дуже низький рівень забруднення при SDI менше 5.

Тест SDI використовується для прогнозування і подальшого запобігання забрудненню поверхні мембрани твердими частинками. Іншими назвами цього тесту є колоїдний індекс (KI) або індекс забруднення (FI). Цей показник визначений у стандарті ASTM D4189, американському стандарті для випробування матеріалів.

Він вимірює час, необхідний для фільтрації фіксованого об'єму води через стандартну мікрофільтраційну мембрану з розміром пор 0,45 мкм при постійному заданому тиску 30 psi (2,07 бар). Різниця між початковим часом і часом другого вимірювання через 15 хвилин (після накопичення мулу) являє собою значення SDI.

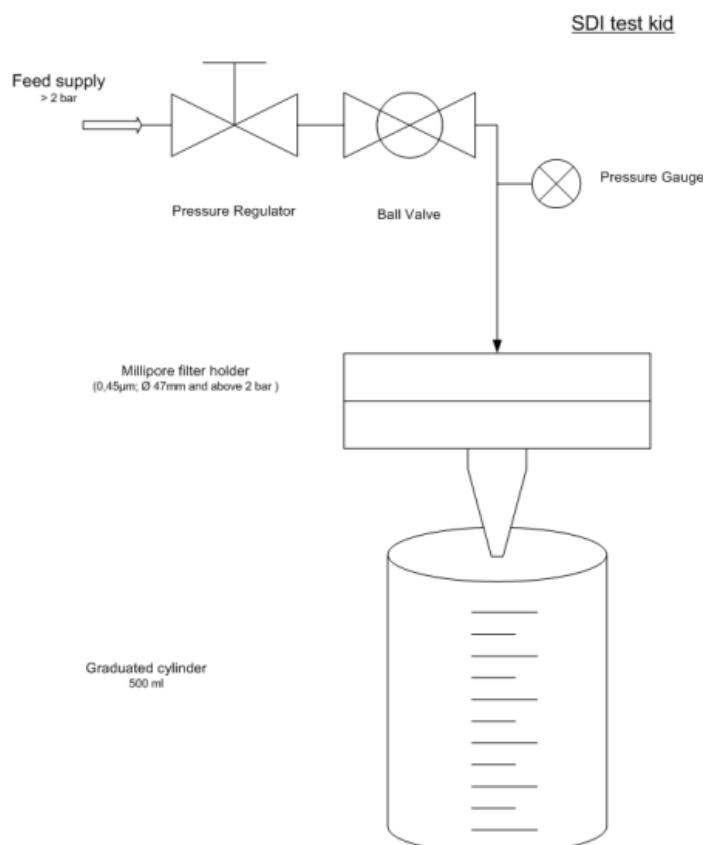


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення установки для визначення SDI

Живильна вода повинна подаватися під тиском 2 бар, який буде регулюватися регулятором тиску і зчитуванням значення на манометрі.

За допомогою кульового крана можна вмикати та вимикати потік.

Тримач фільтра містить фільтр 0,45 мкм діаметром 47 мм, який більш схильний до засмічення колоїдними речовинами, ніж твердими частинками, такими як пісок або окалина.

За допомогою цього обладнання можна виміряти час, необхідний для проходження 500 мл живильної води через фільтр.

Вода продовжує протікати під тиском 2 бар через фільтр.

Через 5, 10 і 15 хвилин можна знову виміряти час, необхідний для проходження 500 мл через фільтр. 15-хвилинний індекс, як правило, буде найнижчим з трьох, і його слід використовувати для визначення розміру фільтра.

15-хвилинний SDI (SDI 15) визначається ASTM як інтервал, необхідний для точного і стандартизованого тестування. Значення SDI 5 і 10 хвилин є лише оцінками 15-хвилинного значення, хоча більшість людей радять проводити всі три виміри.

Значення індексу мулистості визначається наступним чином:

$$SDI = \frac{(1 - \frac{t_i}{t_f}) \cdot 100}{T}$$

Де t_i – початковий час у секундах, необхідний для відбору зразка об'ємом 500 мл

t_f – кінцевий час у секундах, необхідний для відбору другого зразка після закінчення часу тестування

T – загальний час тестування (5, 10 або 15 хв)

Максимальний 5-хвилинний SDI дорівнює 100%, поділений на 5 хвилин, що дає 20 одиниць SDI (відсоток розпаду за хвилину). Те ж саме з 10 і 15 хвилинами.

Зразок	SDI діапазон
5 хвилин	0 – 20
10 хвилин	0 – 10
15 хвилин	0 – 6.67

Значення SDI дають наступні показання до застосування зворотного осмосу:

SDI < 1	Кілька років без колоїдних відкладень
SDI < 3	Кілька місяців між очищеннями
SDI 3 – 5	Ймовірна проблема з особливими забрудненнями, часте очищення
SDI > 5	Неприйнятно, необхідна додаткова попередня обробка

Також варіюється в залежності від конструкції модуля. Спіральні намотані модулі, що використовуються в тесті на нанофільтрацію, як правило, вимагають SDI<5, тоді як порожнисті тонковолокнисті модулі більш схильні до забруднення і вимагають SDI<3.

Цільовий показник SDI після фільтрації, як правило, становить 3 – 5 або менше. Поверхнева або морська вода може мати SDI до 200, що вимагає флокуляції, коагуляції та глибокошарової мультимедійної фільтрації перед обробкою методом зворотного осмосу.

Крім того, зниження швидкості потоку також перетворюється зі значення SDI у значення фактора закупорювання (PF), який виражає закупорювання у відсотках, де 100% означає, що фільтр повністю закупорений.

Приклад: $SDI_{15} = 1,4$ одиниці SDI, тоді $PF = 1,4 / 6,7 * 100$, або 21% засмічення.

Модифікований індекс забруднення, який був отриманий на основі індексу замулення та індексу щільності мулу, базується на явищі гельфільтрації. Численні вимірювання показали, що фільтрація води, яка містить колоїдні речовини, через мембранний фільтр (0,45 мкм) контролюється наступними механізмами: спочатку блокування фільтрації, через короткий час гельфільтрація без ущільнення, потім гельфільтрація з ущільненням. Математичний опис гельфільтрації без ущільнення простий і застосовний для визначення показника, пов'язаного з природою і концентрацією колоїдів. Вимірювання, проведені на типах води з різних джерел, показали, що модифікований індекс забруднення може бути дуже корисним

інструментом для пояснення і прогнозування швидкості, з якою відбувається забруднення мембран зворотного осмосу.

3.4.2 Закон Бугера–Ламберта–Бера

Цей закон допомагає нам у вимірюванні гасіння світла за допомогою спектрометра. Інтенсивність падаючої світлової хвилі послаблюється дисперсною системою за рахунок за рахунок ефекту вимирання. Вимирання залежить від наступних факторів[17]:

- Концентрація частинок, c
- розмір частинок, d
- Довжина хвилі світла, λ
- Відносний показник заломлення m_{rel}

Затухання інтенсивності I при проходженні шляху x в межах можна розрахувати як функцію концентрації частинок c_N і перерізу екстинкції C_{ext} наступним диференціальним рівнянням:

$$-\frac{dl}{dx} = C_N \cdot C_{ext}(d, \lambda, m_{rel}) \cdot l(x)$$

Відокремивши змінну та проінтегрувавши від початкової інтенсивності I_0 до інтенсивності за системою I і на довжині L системи обумовлена рівнянням:

$$Ex = -\ln(T) = -\ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = C_N \cdot C_{ext}(d, \lambda, m_{rel}) \cdot L$$

Це рівняння відоме як закон Бугера–Ламберта–Бера. У ньому описано гасіння Ex або пропускання T дисперсної системи в залежності від її довжини, концентрації частинок і перерізу гасіння.

За допомогою рівняння можна знайти об'ємну концентрацію частинок c_v , наступне рівняння для результатів екстинкції:

$$Ex = \frac{3}{2} \cdot C_v \cdot \frac{Q_{ext}(d, \lambda, m_{rel})}{d} \cdot L$$

Замість середнього розміру частинок d всіх частинок для рівняння можна також використовувати розподіл частинок за розмірами.

Для рівняння () може бути використаний гранулометричний склад. З об'ємною залежністю щільність розподілу $q_3(d)$ застосовується:

$$Ex = \frac{3}{2} \cdot C_v \cdot L \cdot \int_{dmin}^{dmax} \frac{Q_{ext}(d, \lambda, m_{rel})}{d}$$

Для того, щоб застосувати закон Бугера–Ламберта–Бера, дисперсна система, що розглядається, повинна відповідати наступним умовам

- Використання монохроматичного світла
- Однорідний розподіл частинок в системі
- Вимірювальне світло освітлює весь зразок
- Відсутність повторного випромінювання поглиненого світла
- Ідеальне вимірювання інтенсивності світла

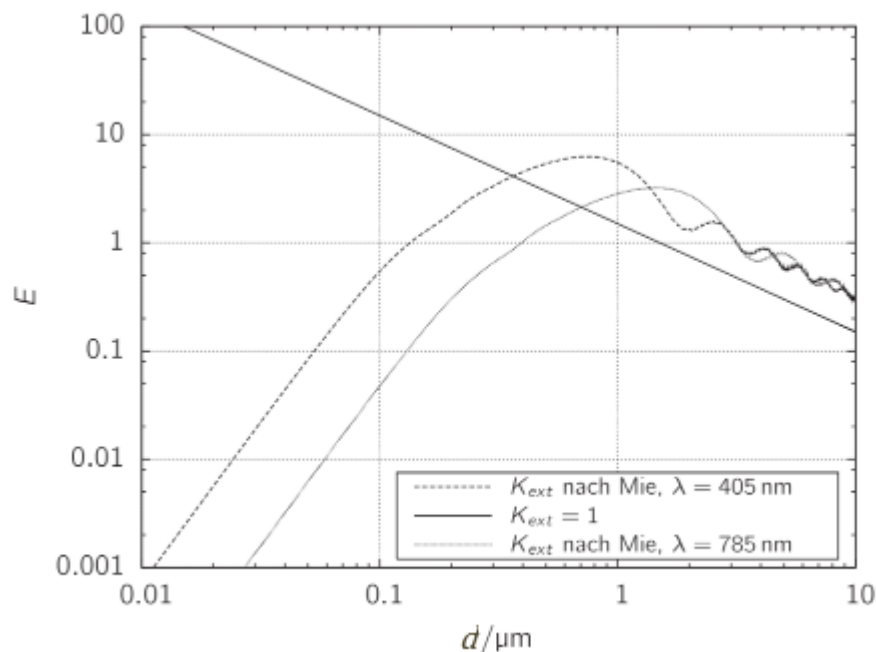


Рисунок 3.4 – Вплив коефіцієнта екстинкції Q_{ext} (K_{ext}) та розміру частинок d при згасанні E_x (E). Приклад вимірювання проводився на монодисперсних частинках латексу в воді ($cV = 0,1$ об.%, $L = 1$ мм)

Теоретично цей закон може бути використаний для визначення розміру частинок дисперсної системи шляхом вимірювання екстинкції. З цією метою було

створено вимірювання перед і після зразка, також довжина зразка, коефіцієнт згасання, коефіцієнт екстинкції та концентрацію частинок.

Залежність екстинкції від розміру частинок ставить проблему, яка полягає в тому, що різні розміри частинок можуть бути віднесені до одного і того ж ефекту гасіння.

3.5 Методи аналізу наночастинок

3.5.1 Статичне розсіювання світла

Всі синтезовані наночастинки кремнезему аналізують після випаровування аммоніяку і співрозчинників та вимірюються за допомогою аналізатора розміру частинок HORIBA.

Вимірювальний прилад має діапазоні від 10 нм до 3000 мкм і працює з проточною кюветою (HORIBA Instruments). Для приготування зразки струшують і перемішують, для досягнення однорідного розподілу частинок у воді. Додатково можна провести диспергування роторно–статорним диспергатором, що не є необхідним через стабільність розчину.

За допомогою піпетки в пробовідбірник вливають порцію проби, що підлягає аналізу пробовідбірник вимірювального приладу, який вже заповнений водою. У ньому проба постійно перемішується мішалкою, а також обробляється за допомогою вбудованого диспергатора. Розсіяні у воді частинки безперервно циркулюють між резервуаром для зразків і проточною кюветою.

Конструкція вимірювального пристрою схематично зображена на рисунку 3.5

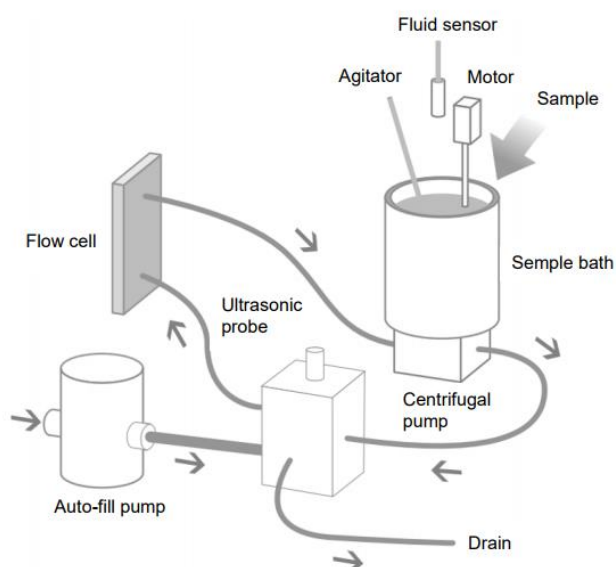


Рисунок 3.5 – Схематична побудова спектрометра лазерного розсіяного світла HORIBA LA-950V2

У проточній комірці частинки вимірюються відповідно до основного принципу статичного розсіювання світла (SLS). Основна ідея принципу вимірювання полягає в тому, що частинка розсіює світло під кутом, який залежить від розміру частинки і з певним розподілом інтенсивності. В процесі цього більші частинки розсіюються напружено під вузьким кутом, а більш дрібні частинки слабо під широким кутом.

Спектрометр лазерного розсіювання світла складається з таких вузлів:

- Двигун
- Мішалка
- датчик рідини
- зразок
- «ванна» для зразка
- відцентровий насос
- ультразвуковий зонд
- проточна комірка
- злив
- насос автоматичного заповнення

Інтенсивності та кутів можуть бути перетворені в гранулометричний склад. З цією метою пристрій містить принаймні одне джерело інтенсивного монохроматичного світла (лазера), проточну кювету і масив високоякісних фотодіодів для детектування розсіяного світла.

HORIBA LA-950V2 має два джерела світла з різною довжиною хвилі, один червоний лазер 650 нм та синій світлодіод 405 нм[19].

Використання другого джерела світла з довжина хвилі особливо важлива для залежної від довжини хвилі точності вимірювання малих менших частинок. Фотодіоди реєструють кут та інтенсивність розсіяного світла. Ця інформація оцінюється за складним алгоритмом, який використовує описаний принцип.

Алгоритм складається з оптичної моделі з необхідним математичним

перетворення для генерації розподілу частинок за розмірами на основі розподілу з вимірювань розсіяного світла. Сучасний рівень техніки включає в себе оцінку за допомогою методу теорії розсіювання Міє. Для спрощення припускається, що частинки мають сферичну форму.

Таке припущення є адекватним у випадку синтезованих в даній роботі наночастинок, оскільки частинки, отримані методом Штебера, мають сферичну форму.

Для цього необхідна однорідність дисперсії і знання показника заломлення індексу частинок і навколишнього середовища. За допомогою програмного комплексу HORIBA гранулометричний склад формується у вигляді об'ємного розподілу.

3.5.2 UV/Vis Спектроскопія

UV/Vis спектроскопія дозволяє визначити середній розмір частинок і концентрацію наночастинок в розчині шляхом вимірювання поглинання світла.

Збудження електромагнітним випромінюванням може виводити валентні електрони молекул у більш енергійний стан. Цей процес називається поглинанням[20].

Випромінювання, що використовується в UV/Vis Спектроскопії варіюється від ультрафіолетового діапазону (УФ, довжина хвилі: 220 – 380 нм) до видимого діапазону (Vis, довжина хвилі: 380 – 800 нм). Енергія, що поглинається при вимірюванні, може описуватися законом Бугера–Ламберта–Бера. Екстинкція залежить від концентрації частинок, що підлягають дослідженню. Перевагами УФ/Вид спектроскопії є те, що вона швидка, проста і недорога у виконанні.

UV/Vis спектроскопія використовує дейтерієву лампу для ультрафіолетового діапазону і вольфрамову лампу для видимого діапазону.

В обох діапазонах можна використовувати ксенонову лампу. В конструкції UV/Vis спектрометра розрізняють наступні

- Однопроменевий спектрометр

- Двопроменевий спектрометр
- Спектрометр з фотодіодною матрицею

В однопроменевому спектрометрі світло (рисунок 3.6), що підлягає вимірюванню, розділяється на окремі його довжини хвиль за допомогою дисперсійного елемента. Щілина гарантує, що тільки світло приблизно однієї довжини хвилі падає на зразок, який знаходиться в кюветі. Детектор вимірює інтенсивність світла вимірювальної лампи за зразком. Поглинання визначається з інтенсивності.

Перед кожним вимірюванням на спектрометрі необхідно проводити установку нуля за допомогою еталонного розчину для виключення поглинання кювети і розчинника.

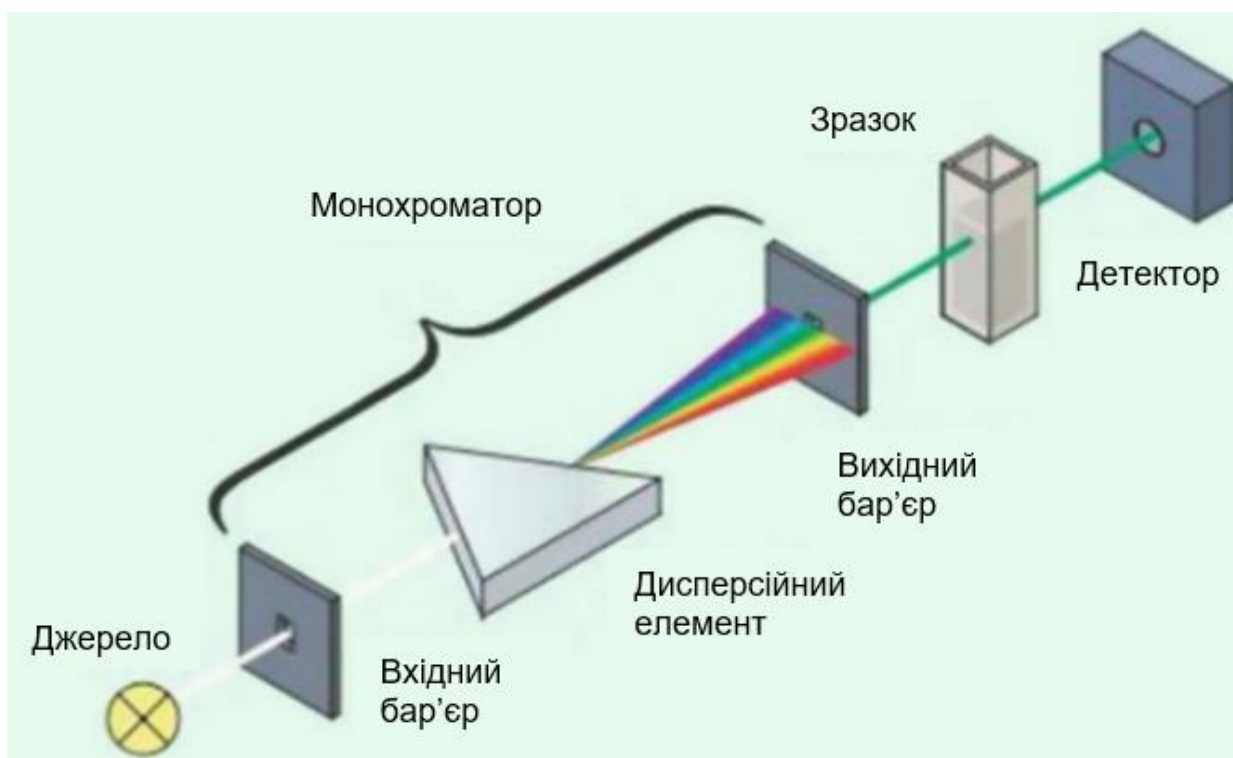


Рисунок 3.6 – Схематична будова однопроменевого УФ/Вид спектрометра

Двопроменевий спектрометр (рис. 3.6) має ту перевагу, що немає необхідності в додатковому вимірюванні еталонного розчину.

Вимірювання еталонного розчину не потрібне. За допомогою обертового дзеркала або напівпрозорого дзеркала, вимірювальне світло розділене таким чином, що можна проводити вимірювання референтного розчину.

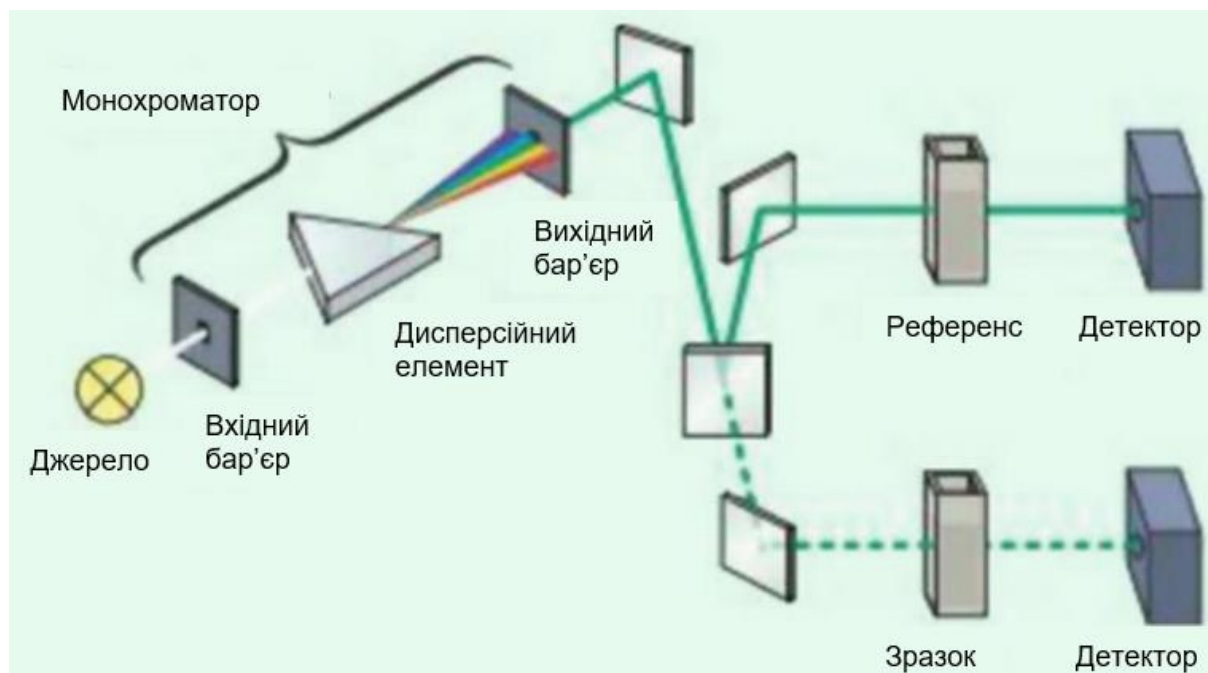


Рисунок 3.7 – Схематична будова двопроменевого UV/Vis спектрометра

За допомогою фотодіодного масивного спектрометра (рис. 3.7) зразок спочатку висвітлюється перед тим, як вимірювальне світло розщеплюється на спектр за допомогою поліхроматора.

Перевагою такої установки є те, що весь спектр може бути можна визначити за допомогою одного вимірювання. В якості джерела світла використовується ксенонова лампа, що може генерувати світло для всього UV/Vis спектру.

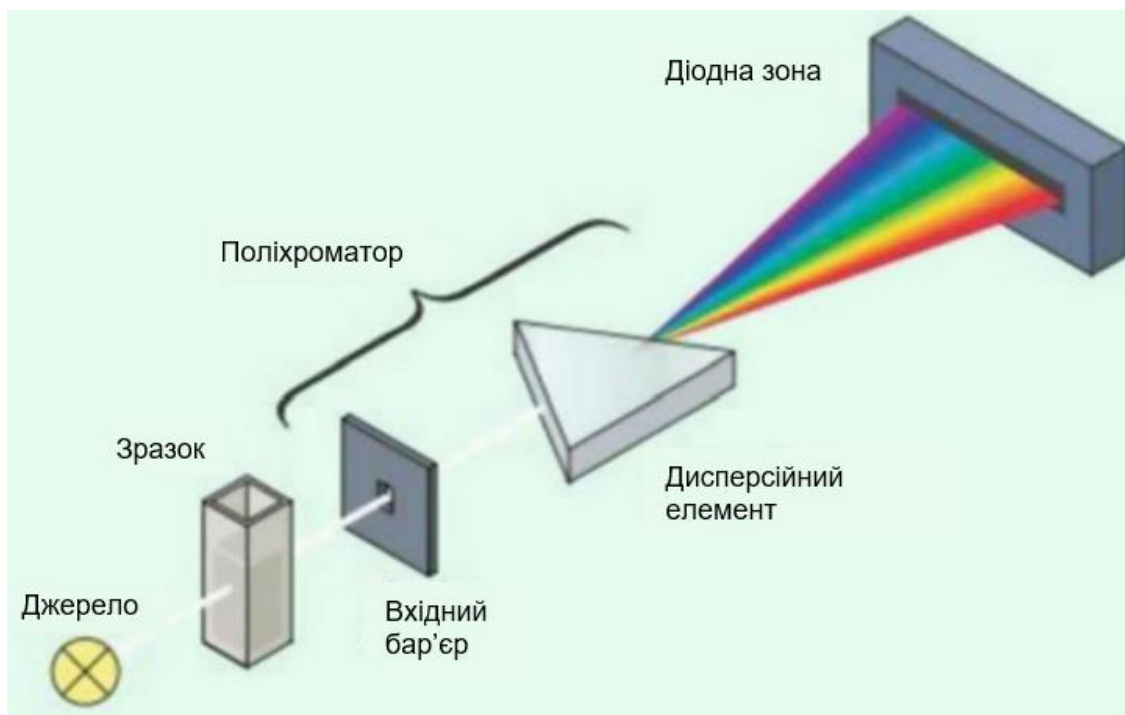


Рисунок 3.8 – Схематична будова фотодіодної матриці UV/Vis спектрометра

Для кількісного визначення концентрації частинок у пробі з Закону Бугера–Ламберта–Бера, перерізи згасання для конкретної речовини повинні визначатися з використанням еталонних розчинів з чистими речовинами при певних довжинах хвиль.

Для того, щоб визначити розмір частинок зразка, вимірюється спектр поглинання та порівнюються з теоретично розрахованими спектрами.

Сpektри поглинання можуть бути розраховані за допомогою теорії Мі в залежності від розміру частинок. Розмір частинок спектра, який найменше відхиляється від вимірних значень, вважається розміром частинок проби. З ультрафіолетовим випромінюванням спектроскопія може бути використана для аналізу наночастинок в діапазоні розмірів від приблизно 5 нм до 100 нм.

UV/Vis спектроскопія не підходить для аналізу полідисперсних систем, оскільки спектри монодисперсної системи відрізняються лише піковим максимумом.

За допомогою UV/Vis спектроскопії теоретично можливо визначити спектри поглинання твердих тіл і газів.

Однак, як правило, частинки, що підлягають дослідженню, зазвичай поміщають у розчин. Концентрація твердих частинок в розчині не повинен бути занадто високим, щоб зменшити виникнення багаторазового розсіювання, яке помилково розпізнається детектором як поглинання. Крім того при виборі розчинника необхідно звернути увагу на те, щоб він не був занадто сильним в розглянутому спектру.

3.6 Загальні відомості про установки та програми для проведення експериментів

3.6.1 Лазерний гранулометричний аналізатор розсіювання Horiba PLA-960

Ця остання розробка в серії LA просуває наукові знання для майбутнього світу завдяки інтуїтивно зрозумілому програмному забезпеченню, унікальним аксесуарам і високій продуктивності.

LA-960 продовжує горду традицію HORIBA лідирувати в галузі завдяки інноваційному дизайну.



Рисунок 3.9 – Лазерний гранулометричний аналізатор розсіювання Horiba PLA-960

- Вимірювання розміру частинок від 10 нанометрів до 5 міліметрів
- Найсучасніший метод вимірювання наночастинок дозволяє вирішувати піки на рівні 30 нанометрів
- Підходить для суспензій, емульсій, порошків, паст, гелів і кремів
- Простий у використанні аксесуар для сухого порошку, для отримання додаткової інформації відвідайте сторінку PowderJet
- Потрібні лише мікрограми* зразка, що мінімізує вартість аналізу
- Гнучкі, повністю автоматизовані послідовності вимірювань забезпечують максимальну точність і відповідність методу
- Відмінна відтворюваність і узгодженість результатів від приладу до приладу, для отримання додаткової інформації ознайомтеся з дослідженням Gage R&R для отримання додаткової інформації
- Вимірювання менш ніж за 60 секунд підвищують продуктивність

Нові користувачі керуються програмним забезпеченням Method Expert для створення потужних методів вимірювання без попередньої підготовки.

Досвідчені користувачі створюють вимірювання "під ключ" за допомогою функції Sequence, яка включає в себе спеціальні повідомлення, усереднення вимірювань, повторення успішних/неуспішних результатів і багато іншого.

Просунуті користувачі можуть скористатися графіком інтенсивності, спеціальними розрахунками та іншими інструментами для глибокого розуміння своїх вимірювань[19].

Абсолютно новий користувацький інтерфейс підкреслює простоту використання для забезпечення безпроблемної роботи

Інтегроване програмне забезпечення, що відповідає вимогам 21 CFR, частина 11, з функціями адміністрування користувачів, аудиту та електронного підпису

Продуктивність LA-960 перевіряється на кожному приладі за допомогою стандартів розміру моно- і полідисперсних частинок, що простежуються NIST.

Таблиця 3.1 – Характеристики аналізатор розсіювання Horiba

Метод вимірювання	Теорія розсіювання Міє
Діапазон вимірювання	від 0,01 мкм до 5000 мкм
Час вимірювання	1 хвилина від заповнення дисперсійною рідиною до вимірювання та промивання.
Система відбору проб	Необхідна кількість зразка: Зразок від 10 мг до 5 г (залежить від матеріалу зразка)
	Дисперсійне середовище: Приблизно від 180 мл до 250 мл (за допомогою проточної комірки)
	В'язкість: Менше 10 мПа
Оптична система	Джерело світла: 650 нм лазерний діод при бл. 5,0 мВт
	405 нм світлодіод (світлодіод) приблизно 3,0 мВт
	Детектори: Кремнієвий фотодіод
Система циркуляції	Ультразвуковий зонд: Частота 20 кГц, 7–рівневий вибір
	Циркуляційний насос: 15–рівневий вибір
	Мішалка: 15–рівневий вибір
	Потік / фракційна комірка: Скло Темрах
Джерело живлення	120 В змінного струму $\pm 10\%$ або 230 В змінного струму $\pm 10\%$, 50/60 Гц $\pm 1\%$.
Споживана потужність	300 ВА
Робоча температура	Від 15 до 35 °C (від 59 до 95°F)
Робоча вологість	Відносна вологість 85% або менше (без конденсату)
Зовнішні розміри	705 x 565 x 500 мм (28 x 23 x 20 дюймів)
	(Ш x Г x В: не включаючи розміри виступів)
Маса при бл.	56 кг (123 фунта)

Таблиця 3.2 – Характеристики допоміжного обладнання для виміру сухого матеріалу

Метод диспергування	Інжекторне примусове диспергування в повітрі, з використанням стисненого повітря
Метод подачі зразка	Вібраційний живильник
Метод викиду зразка	Примусове викидання за допомогою вакууму
Метод регулювання концентрації зразка	Регулюється потужністю вібрації живильника
Метод контролю	Послідовний зв'язок з вимірювальним блоком LA–960
Контрольовані об'єкти	Зміна потужності вібрації живильника (автоматична або встановлена користувачем), вакуум

	ON/OFF, клапан стисненого повітря ON/OFF, тиск регулюється
Час вимірювання	Зазвичай близько 2 секунд від початку вимірювання
Робоча температура / вологість	15 до 35 °C, 85% відносної вологості макс. (без конденсації) (59 до 95°F)
Зовнішні розміри	332 мм x 321 мм x 244 мм (13 x 13 x 10 дюймів) (Ш x Д x В: без урахування розмірів проєкцій та одиниці виміру LA-960)
Джерело живлення	Перемінний струм 100/120/230 В, 50/60 Гц, 1500 ВА (Включаючи вакуум; не включаючи вимірювальний блок LA-960)
Тиск Стисненого повітря	0,5 МПа до 0,8 МПа
Порт подачі стисненого повітря	Швидкороз'ємний з'єднувач для смоляної трубки із зовнішнім діаметром 6 мм (Устаткування для подачі стисненого повітря поставляється окремо)

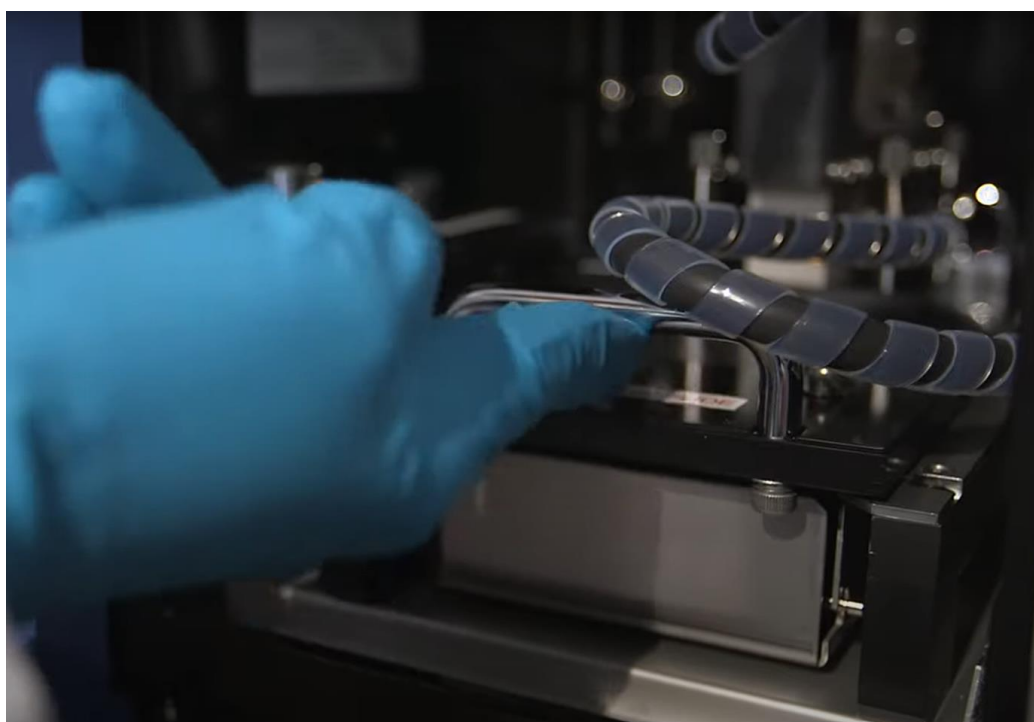


Рисунок 3.10 – Каретка для переключення техніки вимірювання

За допомогою спеціального відсіку можна здійснювати легке перемикання техніки вимірювання з рідних зразків на порошки.

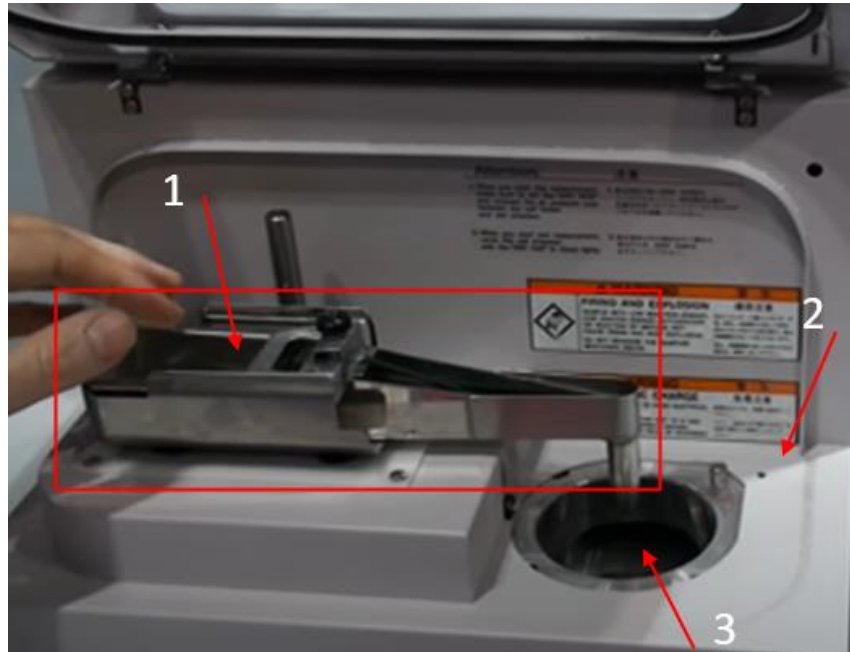


Рисунок 3.11 – Модифікація до аналізатор розсіювання Horiba PLA–960, для проведення вимірювань з сухим матеріалом: 1 – вібраційний потяг, 2 – місце для встановлення дзеркала, 3 – отвір, у який за допомогою вакууму та вібрації втягується порошок

LA–960 поєднує в собі найпопулярнішу сучасну техніку визначення розмірів з найсучаснішими вдосконаленнями для вимірювання вологих і сухих зразків розміром від 10 нанометрів до 5 міліметрів. Основна ідея лазерної дифракції полягає в тому, що частинка розсіює світло під кутом, який визначається розміром цієї частинки. Більші частинки розсіюються під малими кутами, а менші частинки розсіюються під великими кутами.

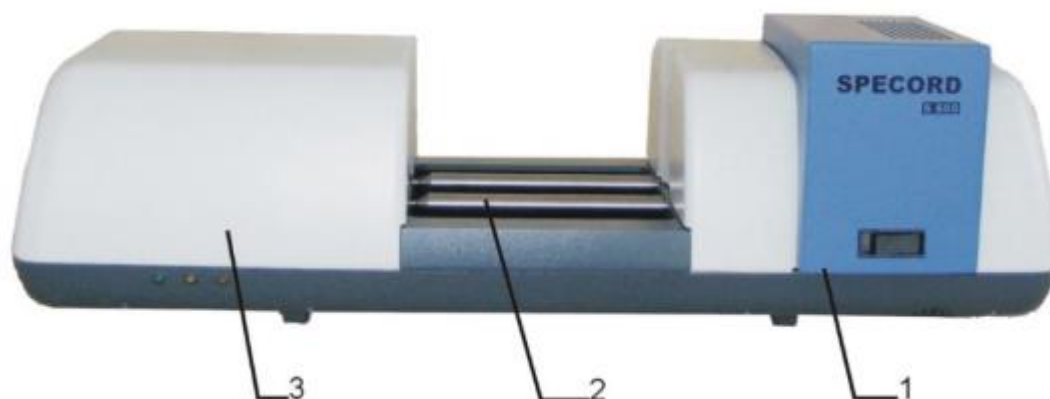
Сукупність частинок створює картину розсіяного світла, що визначається інтенсивністю та кутом, яка може бути перетворена в результат розподілу частинок за розмірами.

3.6.2 UV/Vis Спектрометр – SPECORD S 600

SPECORD S600 – це потужний, керований комп'ютером високопродуктивний діодний атомно–променевий спектрофотометр, призначений для вимірювання пропускання, поглинання, відбиття, а також енергії рідких і твердих зразків. Призначений для проведення вимірювань в спектральному діапазоні вимірювань у спектральному діапазоні від 190 до 1020 нм.

У поєднанні з потужним програмним забезпеченням WinASPECT, SPECORD S600 особливо підходить для використання в рутинних лабораторіях з високою пропускною здатністю зразків, але також забезпечує рішення для спеціальних застосувань, якщо використовується в поєднанні з різноманітними аксесуарами.

Зовнішній вигляд SPECORD S600 відзначається відсіком для лампи з правого боку, центральним відсіком для зразків, відкритим на три сторони, і секцією поліхроматора з лівого боку.



1 –відсік для ламп, 2 – відсік для зразків з направляючими для кріплення аксесуарів, 3 – поліхроматор

Рисунок 3.12 – Механічна конструкція SPECORD S600

На відміну від скануючих спектрофотометрів з монохроматором, оптична конструкція SPECORD S600 з поліхроматором вимагає лише декількох рухомих компонентів і механічно дуже стабільна.

В якості джерел світла використовуються галогенні лампи для області видимого та інфрачервоного діапазону і дейтерієва лампа для ультрафіолетового діапазону.

Повзунок перемикача ламп служить для поєднання світла або галогенної, або дейтерієвої лампи, або світла обох ламп одночасно в кінцевому підсумку в оптичний тракт.

У перервах між вимірюваннями випромінювання ламп вимикається жалюзі. Таким чином, можна проводити вимірювання темнових струмів і захистити зразок від зайвого опромінення.

Оптична установка з поліхроматором дозволяє використовувати відкритий відсік для зразків. Пучок променів обмежується оптичними щілинами з боку відсіку лампи і з боку поліхроматора. Додаткові вузли закріплені на несучих рейках відсіку для зразків.

В якості поліхроматора використовується запатентований модуль MCS (Multi-багатоканальна система) від Carl Zeiss. Вхідна щілина, голографічна решітка, що формує голографічна решітка і детектор вмонтовані в керамічному корпусі.

3.7 Постановка експериментів

3.7.1 Налаштування HORIBA LA 960

Метою цих вимірювань є визначення їх розмірності та гомогенності використовуємо наночасточок сіліціум діоксиду.

Вимірювальну процедуру проводимо таким чином:

Завчасно вмикаємо Лазерний гранулометричний аналізатор розсіювання Horiba PLA-960, а потім програму на підключеному до аналізатора комп'ютері з назвою «LA-960».

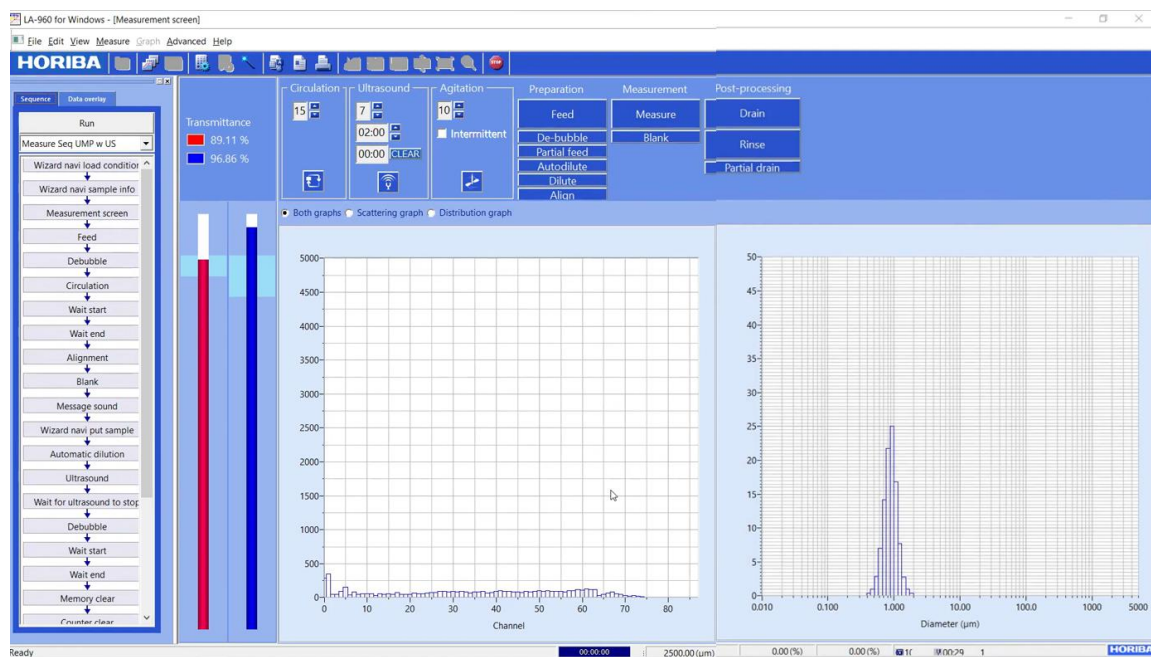


Рисунок 3.13 – Стартовий екран запуску програми LA-960

Перед нами з'являється інтерфейс, у цій області можемо відслідкувати наскільки чисте зараз обладнання, щоб провести коректні виміри (рисунок 3.14).

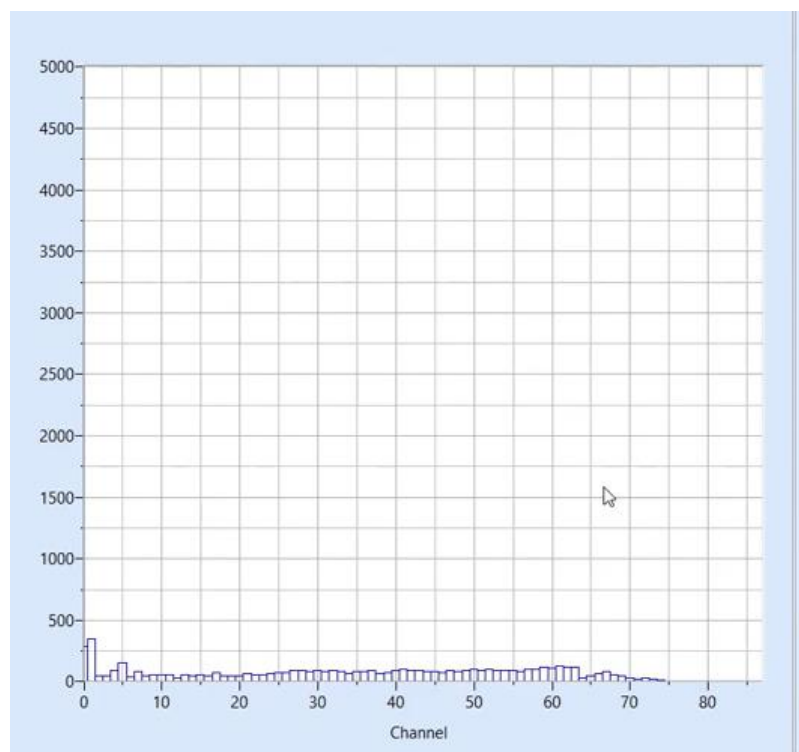


Рисунок 3.14 – Вікно для аналізу забруднення обладнання

Для того щоб почати вимірювання, значення цієї діаграми не повинні перевищувати відмітку в 500 одиниць.

На наступній діаграмі можемо побачити, яким розмір частинок викликано забруднення. (рисунок 3.15)

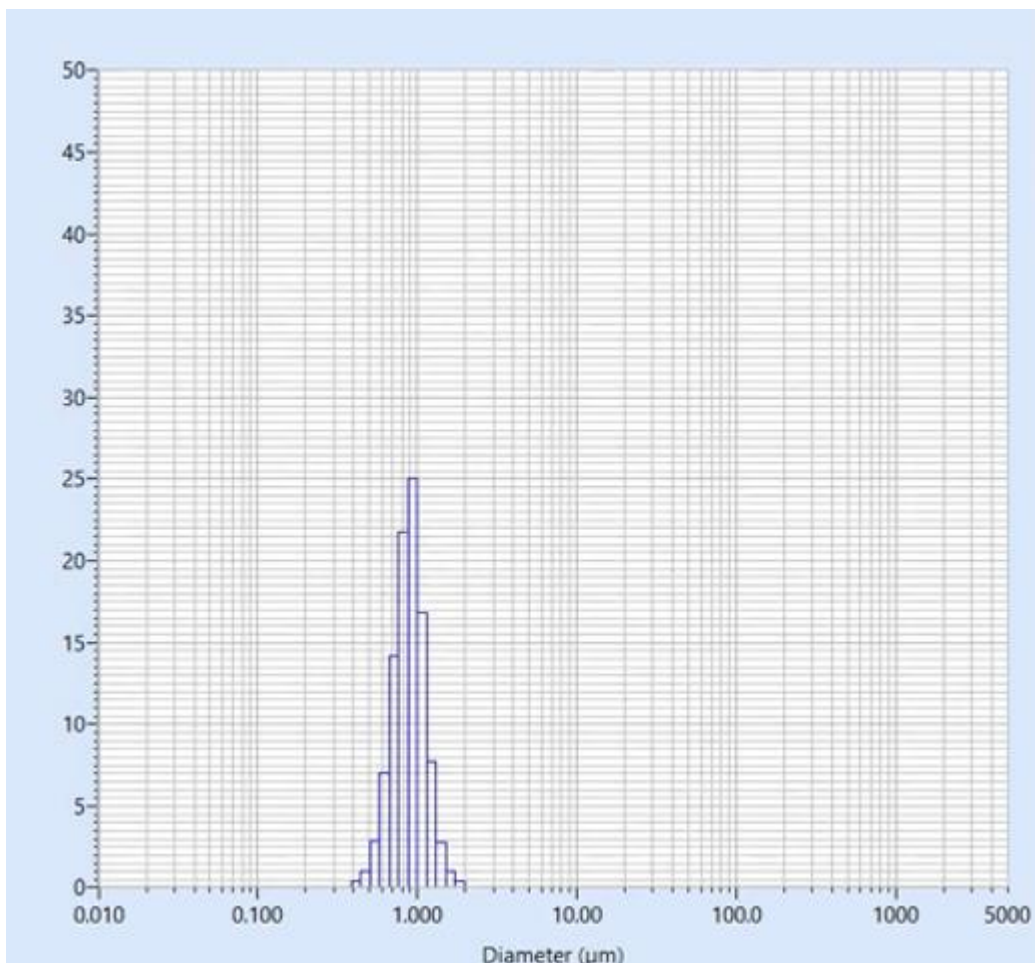


Рисунок 3.15 – Діаграма розмірів часточок, що знаходяться на вимірі



Рисунок 3.16 – Інтерфейс для ручного ввімкнення функцій

На рисунку 3.16 знаходиться меню для ручного управління функціями обладнання, а саме:

- Циркуляція, за допомогою якої зразок переміщується у вимірювальній системі;

- Ультрасаунд, це технологія для збереження від агломерування наночастинок;
- Змішування, функція, що запускає процес перемішування води у водяній ванні для зразка.

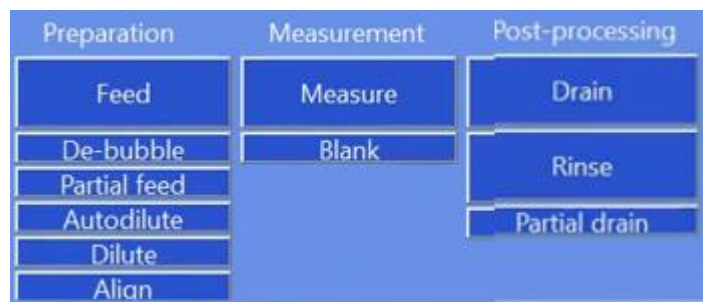


Рисунок 3.17 – Інтерфейс для підготовки, виміру та завершення виміру

Порядок проведення вимірювання:

1. Переконалися, що обладнання чисте і готове до вимірювання
2. Якщо в системі знаходяться частинки з попереднього виміру, то провести заходи с очищення, а саме зробити кілька кіл промивання за допомогою води.
3. Використовуючи диспергатор Ultraturax підготувати наночастинок до вимірювання та запобігти агломерування. (рис. 3.18)



Рисунок 3.18 – Диспергатор наночасток

Високопродуктивний диспергатор для об'ємів від 1 до 2 000 мл (H_2O) з цифровою індикацією швидкості. Широкий діапазон частоти обертання 3000 – 25 000 хв^{-1} дозволяє працювати на високих периферійних швидкостях. Спектр застосування охоплює гомогенізацію зразків стічних вод, використання в лабораторних реакторах, диспергування під вакуумом або тиском, а також підготовку зразків в медичних дослідженнях.

4. До початку вимірювань позначити «чисту» воду, як початковий ступінь вимірювання.
5. Додавати зразок до ємності з водою (рис. 3.19), до ступені поки значення трансмісії не будуть знаходитися у потрібних зонах (рис. 3.20)

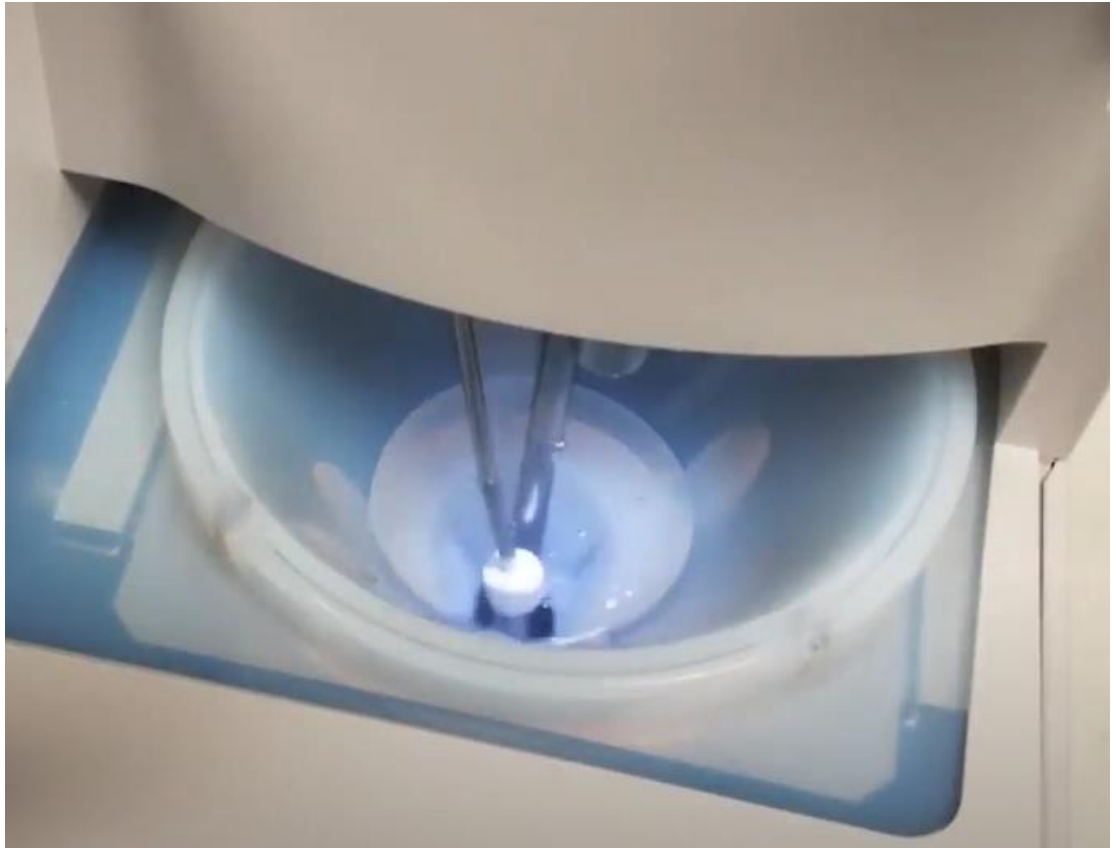


Рисунок 3.19 – «Ванна» для зразка

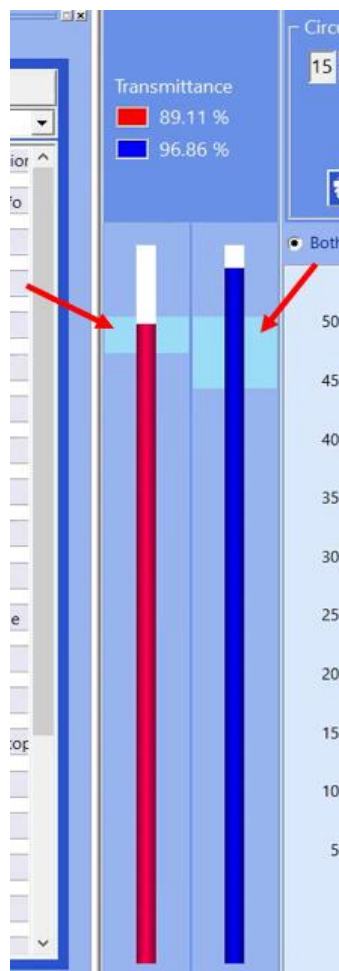


Рисунок 3.20 – Інтерфейс визначення трансмісії

6. За допомогою кнопок провести вимірювання кілька разів, якщо потрібно, то з використанням технології «Ультрасаунд», щоб переконатися о вірності результатів.
7. Злити зразок та виконати кілька кіл очищення для наступного вимірювання.

3.6.2 Налаштування UV/Vis Спектрометра SPECORD S 600

При ввімкненні треба слідкувати за тим, щоб вентиляційні отвори зверху, а також з правого та лівого боків бота SPECORD S600 не були закриті.

Всмоктувальні отвори для двох вентиляторів на нижній частині пристрою не повинні закриватися легкими предметами, розміщеними на стільниці (наприклад, вільним аркушем паперу.)

До початку використання комп'ютерного софту для спектрометра чекаємо до повного нагріву лампи.

Порядок підключення до програми:

1. Запустіть програму WinASPECT®, клавнувши по іконці програми на робочому столі Windows або натиснувши кнопку "Пуск" на панелі завдань: Пуск / Програми / WinASPECT / WinASPECT



Рис. 3.21 Іконка програми WinASPECT®

2. Увімкніть SPECORD S600 за допомогою вимикача живлення на задній панелі лежат (рис. 3.22)

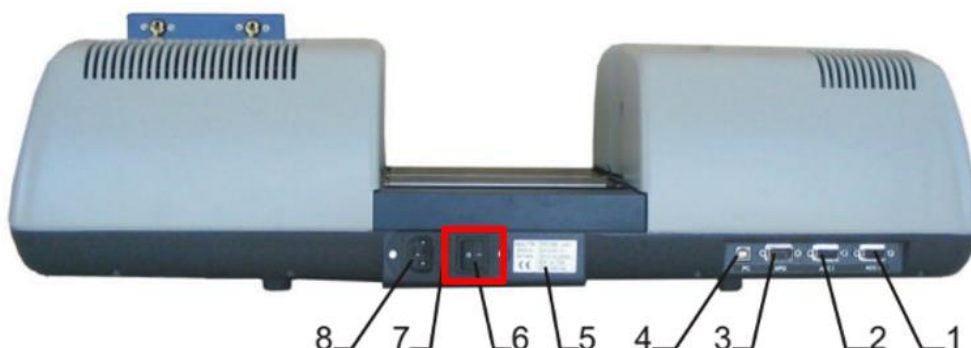


Рисунок 3.22 – Панель роз'ємів на задній панелі

На передній панелі приладу загориться зелений світлодіод "Power ON" на передній панелі приладу загориться зелений світлодіод "Power ON" (рис. 3.23)

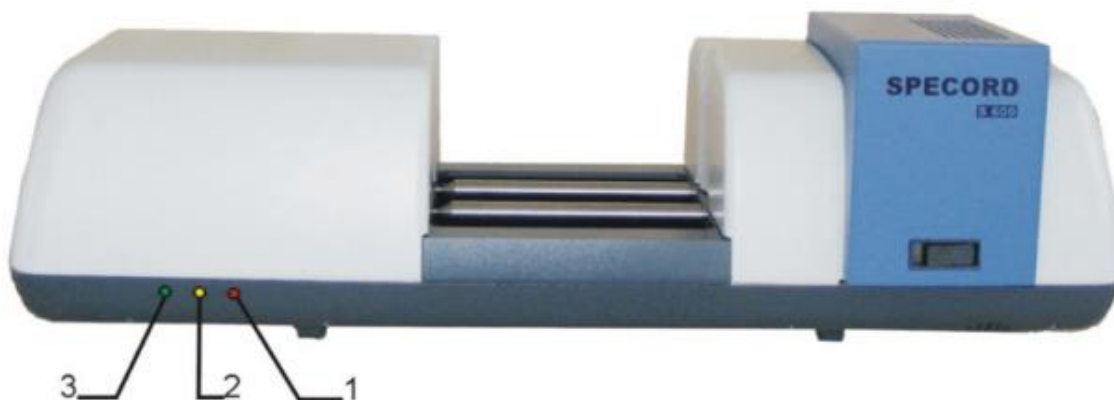


Рисунок 3.23 – Елементи індикації на передній панелі

3. У програмному забезпеченні WinASPECT® оберіть SPECORD S600 – PC port: used. Активувати функцію меню Measurement / Set Parameters (Вимірювання / Задати параметри), щоб відкрити вікно драйвера пристрою SPECORD S600[20].

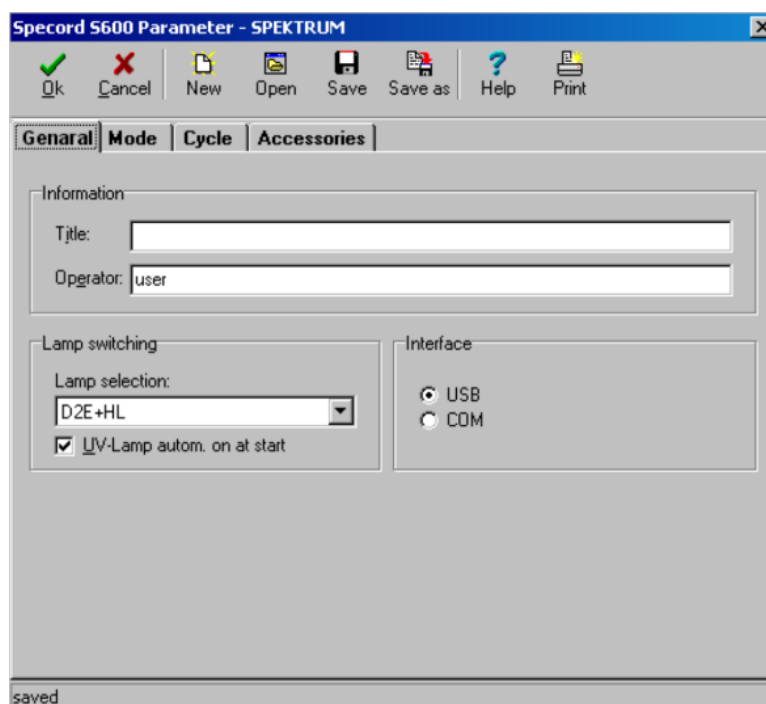


Рис. 3.24 Діалогове вікно драйвера пристрою SPECORD S600

Перейдіть на вкладку General. Виберіть порт SPECORD S600, до якого підключений ПК. Закрийте вікно драйвера пристрою натисканням на кнопку [OK].

4. Ініціалізувати пристрій для встановлення зв'язку між ПК та SPECORD S600. Для цього активізуйте команду меню Вимірювання / Ініціалізація приладу.

3.6.3 Опис експериментальної установки для вимірювань

Головною метою вимірювань є визначення кореляцій між індексами обростання та вимірюваннями екстинкції на потоці.

Установка для проведення експериментів із подальшою математичною обробкою в системі MATLAB представлена на рис. 3.25 та рис 3.26.

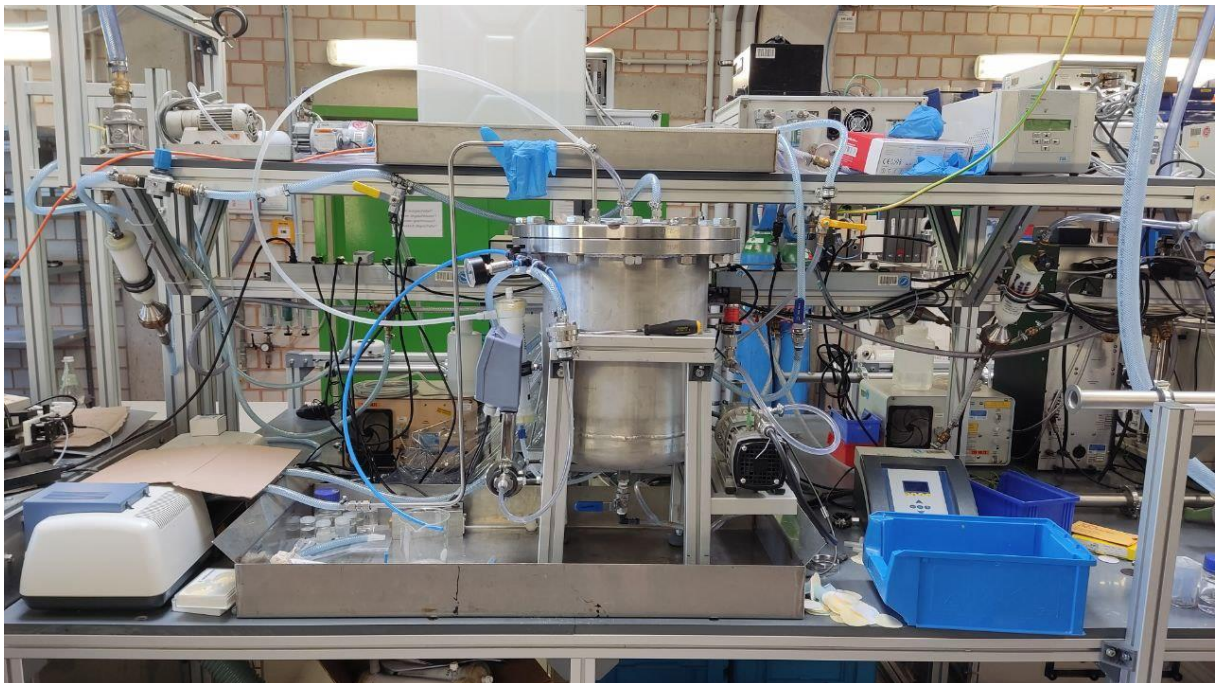


Рисунок 3.25 – Загальний вид установки

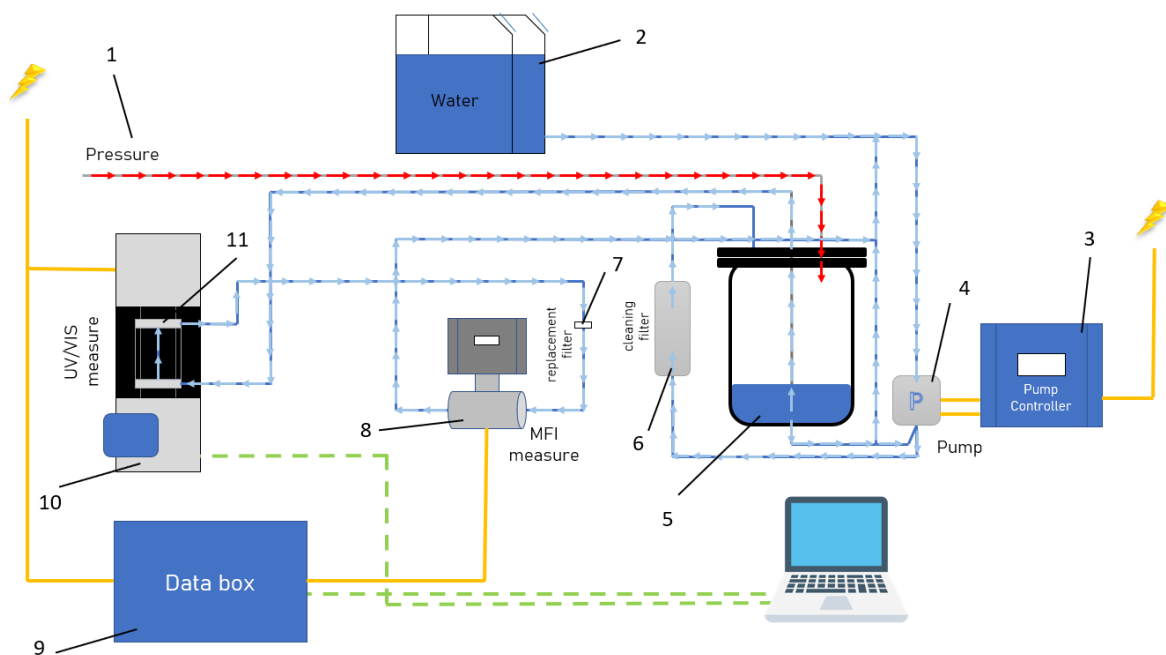


Рисунок 3.26 – Схема експериментальної установки

Установка складається з джерела тиску 1, у ході експерименту використовується тиск у 2 Бари.



Рисунок 3.27 – Контролер для регулювання тиску

Резервуари з водою 2, слугують для заповнення танку 5.



Рисунок 3.28 – Металевий танк для води

Помпа 4 та контролер для помпи 3, які використовуються для заповнення танкера водою з резервуарів.



Рисунок 3.29 – Контролер для помпи



Рисунок 3.30 – Помпа

Фільтр 6 слугує для очищення води від наночастинок після проведення експериментів. Для замірів SDI MFI використовується апарат 8 та змінний фільтр 7. Уся інформація записується у вигляді текстових документів форматів txt та xlsx та зберігається на спеціальному сховищу 9. UV/Vis виміри здійснюються за допомогою апарата 10, який містить в собі розроблену «кювету» 11.

Для початку проведення експерименту танк заповнюється водою, коли вода досягає середини, за допомогою піпетки додаються наночастинок. Отвір для додавання знаходиться на металічній кришці танку. Чекаємо поки він наповниться водою та змінюємо одноразовий фільтр. Для отримання коректних результатів вимірювання слід уникати бульбашок у зоні вимірювання за допомогою спектрометра.

3.8 Висновки до розділу

У даному розділі був проведений опис обладнання та здійснене пояснювання яким чином і на базі чого, проводився аналіз та здійснювалися заміри отриманих експериментальним шляхом.

4 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ

4.1 Постановка задачі математичної обробки

Після проведених експериментів, виконаємо математичний аналіз, використовуючи прикладні програми LA-960, WinAspect, TwinCat – для запису даних та програми MatLab та MS Excel для обчислення отриманих даних. Головною метою вимірювань є те, що вони повинні показати, що MFI корелює з результатами UV/Vis.

Тому для проведення експериментів та вирішення цього питання вирішимо наступну низку задач:

- розрахунок та оцінка розмірів наночастинок,
- розробка скрипту, розрахунок та оцінка даних SDI та MFI індексів
- розробка скрипту, розрахунок та оцінка даних отриманих з UV/Vis Спектрометра

Після розробки скрипту виконаємо аналіз усіх отриманих результатів, представимо у вигляді таблиць та графіків в програмі Excel.

4.2 Обробка даних вимірювання розміру наночастинок

Після процесу вимірювання розміру синтезованих власторуч наночастинок діоксид кремнію у лазерному гранулометричному аналізаторі розсіювання Horiba PLA-960, зберігаємо отримані результати у txt або xlsx форматах для подальшої їх обробки.

	A	B	C
1	Median	0,34340(μm)	
2	Durchschnittswert	0,34420(μm)	
3	Varianz	1,5102E-3(μm ²)	
4	Standardabw.	0,0389(μm)	
5	Modalwert	0,3480(μm)	
6	Spanne	AUS	
7	Geometr. Mittelwert	0,3420(μm)	
8	Geometr. Varianz	1,0056(μm ²)	
9	x(Q)-Wert	(2)10,00 (%) - 0,2974(μm)	(9)90,00 (%) - 0,3944(μm)
10	D10	0,29737(μm)	
11	D90	0,39436(μm)	
12	D(v,0,1)	0,29737(μm)	
13	D(v,0,5)	0,34340(μm)	
14	D(v,0,9)	0,39436(μm)	
15	R-Parameter	3.84E-01	
16	ID#	2.02206E+14	
17	Transmission (R)	90,4 (%)	
18	Transmission (B)	70,3 (%)	
19	Zirkulationsgeschwindigkeit	7	
20	Rührgeschwindigkeit	5	
21	Ultraschall	01:00 (7)	
22	Auflösung	Manuell	
23	Art der Verteilung	Volumen	
24	Brechungsindex (R)	SiO2 syntetic	
25	[rock crystal (1,540 - 1,090i),water(1,333)]		
26	Brechungsindex (B)	SiO2 syntetic	
27	[rock crystal (1,540 - 1,090i),water(1,333)]		
28	Probenname	V9_140622	
29	Material	SiO2	
30	Datenaufnahme Probe (LD)	5000	
31	Datenaufnahme Probe (LED)	5000	
32	Name Ergebnisdatei	V9_14,06,22_Volumen	
33	Bezeichnung	V9_14,06,22_Volumen	
34	Algorithmus	LA-950kompatibel (Ver,4,XX)	

Рисунок 4.1 – Скріншот отриманих даних аналізаторі розсіювання Horiba PLA–960 наночасточок зразка V9 експортованих у програму Excel

	A	B	C
36	Durchmesser(μm)	q(%)	Summe: Q(x)(%)
37	0.011	0	0
38	0.013	0	0
39	0.015	0	0
40	0.017	0	0
41	0.02	0	0
42	0.023	0	0
43	0.026	0	0
44	0.03	0	0
45	0.034	0	0
46	0.039	0	0
47	0.044	0	0
48	0.051	0	0
49	0.058	0	0
50	0.067	0	0
51	0.076	0	0
52	0.087	0	0
53	0.1	0	0
54	0.115	0	0
55	0.131	0	0
56	0.15	0	0
57	0.172	0	0
58	0.197	0	0
59	0.226	0	0
60	0.259	0.63	0.63
61	0.296	8.285	8.914
62	0.339	37.264	46.179
63	0.389	42.664	88.843
64	0.445	10.618	99.461
65	0.51	0.54	100
66	0.584	0	100
67	0.669	0	100
68	0.766	0	100
69	0.877	0	100
70	1.005	0	100
71	1.151	0	100
72	1.318	0	100
73	1.51	0	100
74	1.729	0	100
75	1.981	0	100
76	2.269	0	100
77	2.599	0	100
78	2.976	0	100
79	3.409	0	100
80	3.905	0	100
81	4.472	0	100
82	5.122	0	100
83	5.867	0	100
84	6.72	0	100
85	7.697	0	100
86	8.816	0	100
87	10.097	0	100
88	11.565	0	100
89	13.246	0	100

Рисунок 4.2 – Дані наночасточок зразка V9 ч.2, отриманих у аналізаторі розсіювання Horiba PLA-960 та експортованих у програму Excel

	A	B	C
78	2.976	0	100
79	3.409	0	100
80	3.905	0	100
81	4.472	0	100
82	5.122	0	100
83	5.867	0	100
84	6.72	0	100
85	7.697	0	100
86	8.816	0	100
87	10.097	0	100
88	11.565	0	100
89	13.246	0	100
90	15.172	0	100
91	17.377	0	100
92	19.904	0	100
93	22.797	0	100
94	26.111	0	100
95	29.907	0	100
96	34.255	0	100
97	39.234	0	100
98	44.938	0	100
99	51.471	0	100
100	58.953	0	100
101	67.523	0	100
102	77.34	0	100
103	88.583	0	100
104	101.46	0	100
105	116.21	0	100
106	133.103	0	100
107	152.453	0	100
108	174.616	0	100
109	200	0	100
110	229.075	0	100
111	262.376	0	100
112	300.518	0	100
113	344.206	0	100
114	394.244	0	100
115	451.556	0	100
116	517.2	0	100
117	592.387	0	100
118	678.504	0	100
119	777.141	0	100
120	890.116	0	100
121	1019.515	0	100
122	1167.725	0	100
123	1337.481	0	100
124	1531.914	0	100
125	1754.613	0	100
126	2009.687	0	100
127	2301.841	0	100
128	2636.467	0	100
129	3000	0	100

Рисунок 4.2 – Дані наночасточок зразка V9 ч.2, отриманих у аналізаторі розсіювання Horiba PLA-960 та експортованих у програму Excel

V9									
d_Oben	dM	Intervallbrei	q3	Q3	M	q0		Q0	
0.011	0.0055	0.011	0	0	0	0	0	0	0
0.013	0.012	0.002	0	0	0	0	0	0	0
0.015	0.014	0.002	0	0	0	0	0	0	0
0.017	0.016	0.002	0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.0185	0.003	0	0	0	0	0	0	0
0.023	0.0215	0.003	0	0	0	0	0	0	0
0.026	0.0245	0.003	0	0	0	0	0	0	0
0.03	0.028	0.004	0	0	0	0	0	0	0
0.034	0.032	0.004	0	0	0	0	0	0	0
0.039	0.0365	0.005	0	0	0	0	0	0	0
0.044	0.0415	0.005	0	0	0	0	0	0	0
0.051	0.0475	0.007	0	0	0	0	0	0	0
0.058	0.0545	0.007	0	0	0	0	0	0	0
0.067	0.0625	0.009	0	0	0	0	0	0	0
0.076	0.0715	0.009	0	0	0	0	0	0	0
0.087	0.0815	0.011	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.0935	0.013	0	0	0	0	0	0	0
0.115	0.1075	0.015	0	0	0	0	0	0	0
0.131	0.123	0.016	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0.1405	0.019	0	0	0	0	0	0	0
0.172	0.161	0.022	0	0	0	0	0	0	0
0.197	0.1845	0.025	0	0	0	0	0	0	0
0.226	0.2115	0.029	0	0	0	0	0	0	0
0.259	0.2425	0.033	0.190909	0.0063	0.441779	0.508599	0.016784	0.016784	
0.296	0.2775	0.037	2.239189	0.08914	3.877069	3.980946	0.147295	0.164079	
0.339	0.3175	0.043	8.666047	0.46179	11.64282	10.28666	0.442326	0.606405	
0.389	0.364	0.05	8.5328	0.88843	8.846214	6.721587	0.336079	0.942484	
0.445	0.417	0.056	1.896071	0.99461	1.464315	0.993416	0.055631	0.998116	
0.51	0.4775	0.065	0.083077	1	0.049599	0.02899	0.001884	1	
0.584	0.547	0.074	0	1	0	0	0	1	
0.669	0.6265	0.085	0	1	0	0	0	1	
0.766	0.7175	0.097	0	1	0	0	0	1	
0.877	0.8215	0.111	0	1	0	0	0	1	
1.005	0.941	0.128	0	1	0	0	0	1	
1.151	1.078	0.146	0	1	0	0	0	1	
1.318	1.2345	0.167	0	1	0	0	0	1	
1.51	1.414	0.192	0	1	0	0	0	1	
1.729	1.6195	0.219	0	1	0	0	0	1	
1.981	1.855	0.252	0	1	0	0	0	1	
2.269	2.125	0.288	0	1	0	0	0	1	
2.599	2.434	0.33	0	1	0	0	0	1	
2.976	2.7875	0.377	0	1	0	0	0	1	
3.409	3.1925	0.433	0	1	0	0	0	1	
3.905	3.657	0.496	0	1	0	0	0	1	
4.472	4.1885	0.567	0	1	0	0	0	1	
5.122	4.797	0.65	0	1	0	0	0	1	
5.867	5.4945	0.745	0	1	0	0	0	1	
6.72	6.2935	0.853	0	1	0	0	0	1	
7.697	7.2085	0.977	0	1	0	0	0	1	
8.816	8.2565	1.119	0	1	0	0	0	1	
10.097	9.4565	1.281	0	1	0	0	0	1	

Рисунок 4.3 – Перетворені та доукомплектовані дані для створення графіків

2.976	2.7875	0.377	0	1	0	0	0	1
3.409	3.1925	0.433	0	1	0	0	0	1
3.905	3.657	0.496	0	1	0	0	0	1
4.472	4.1885	0.567	0	1	0	0	0	1
5.122	4.797	0.65	0	1	0	0	0	1
5.867	5.4945	0.745	0	1	0	0	0	1
6.72	6.2935	0.853	0	1	0	0	0	1
7.697	7.2085	0.977	0	1	0	0	0	1
8.816	8.2565	1.119	0	1	0	0	0	1
10.097	9.4565	1.281	0	1	0	0	0	1
11.565	10.831	1.468	0	1	0	0	0	1
13.246	12.4055	1.681	0	1	0	0	0	1
15.172	14.209	1.926	0	1	0	0	0	1
17.377	16.2745	2.205	0	1	0	0	0	1
19.904	18.6405	2.527	0	1	0	0	0	1
22.797	21.3505	2.893	0	1	0	0	0	1
26.111	24.454	3.314	0	1	0	0	0	1
29.907	28.009	3.796	0	1	0	0	0	1
34.255	32.081	4.348	0	1	0	0	0	1
39.234	36.7445	4.979	0	1	0	0	0	1
44.938	42.086	5.704	0	1	0	0	0	1
51.471	48.2045	6.533	0	1	0	0	0	1
58.953	55.212	7.482	0	1	0	0	0	1
67.523	63.238	8.57	0	1	0	0	0	1
77.34	72.4315	9.817	0	1	0	0	0	1
88.583	82.9615	11.243	0	1	0	0	0	1
101.46	95.0215	12.877	0	1	0	0	0	1
116.21	108.835	14.75	0	1	0	0	0	1
133.103	124.6565	16.893	0	1	0	0	0	1
152.453	142.778	19.35	0	1	0	0	0	1
174.616	163.5345	22.163	0	1	0	0	0	1
200	187.308	25.384	0	1	0	0	0	1
229.075	214.5375	29.075	0	1	0	0	0	1
262.376	245.7255	33.301	0	1	0	0	0	1
300.518	281.447	38.142	0	1	0	0	0	1
344.206	322.362	43.688	0	1	0	0	0	1
394.244	369.225	50.038	0	1	0	0	0	1
451.556	422.9	57.312	0	1	0	0	0	1
517.2	484.378	65.644	0	1	0	0	0	1
592.387	554.7935	75.187	0	1	0	0	0	1
678.504	635.4455	86.117	0	1	0	0	0	1
777.141	727.8225	98.637	0	1	0	0	0	1
890.116	833.6285	112.975	0	1	0	0	0	1
1019.515	954.8155	129.399	0	1	0	0	0	1
1167.725	1093.62	148.21	0	1	0	0	0	1
1337.481	1252.603	169.756	0	1	0	0	0	1
1531.914	1434.698	194.433	0	1	0	0	0	1
1754.613	1643.264	222.699	0	1	0	0	0	1
2009.687	1882.15	255.074	0	1	0	0	0	1
2301.841	2155.764	292.154	0	1	0	0	0	1
2636.467	2469.154	334.626	0	1	0	0	0	1
3000	2818.234	363.533	0	1	0	0	0	1

Рисунок 4.4 – Перетворені та доукомплектовані дані для створення графіків ч.2

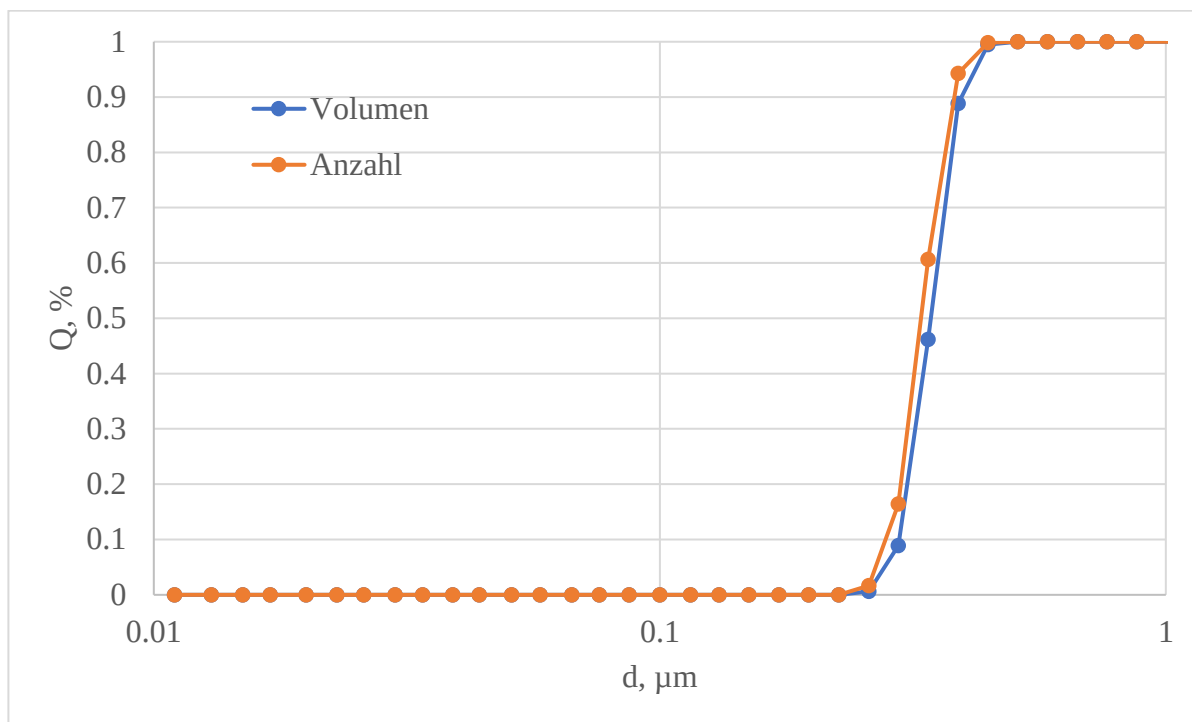


Рисунок 4.5 – Приклад графіку об'єму та розміру для зразка V9

На рисунку 4.5 зображено лінії об'єму та розміру наночасточок. Основний експеримент був проведений зі зразками наночасток: V4 (0,102nm), V9 (0,343 nm), V11 (0,270 nm), V12 (0,401 nm).

Використовуючи такий самий алгоритм будуємо графіки для обраних наночасточок.

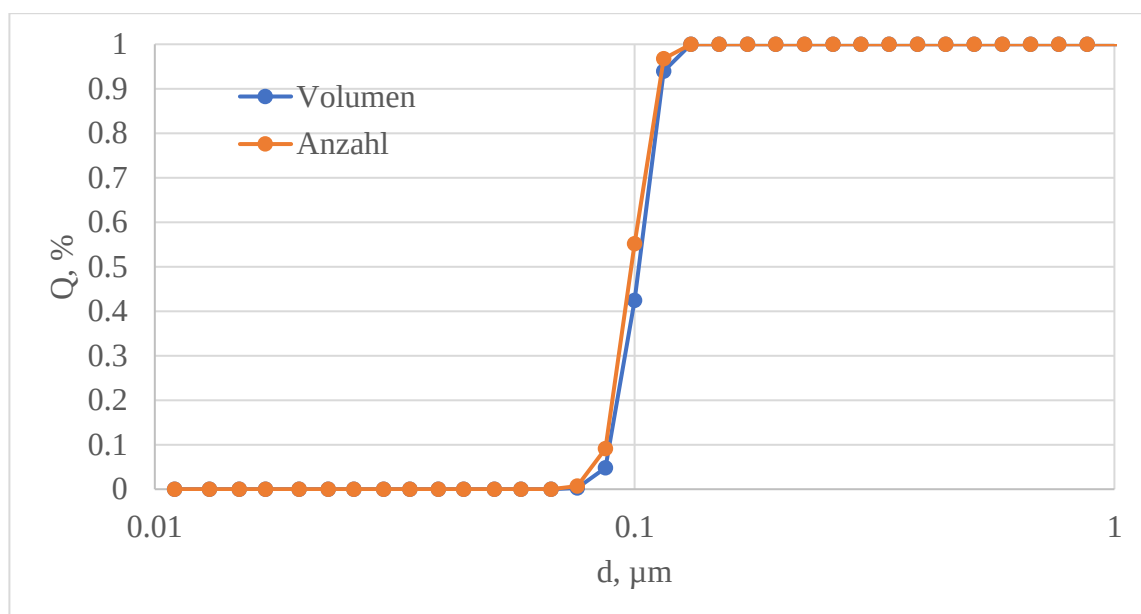


Рисунок 4.6 – Графік об'єму та розміру для зразка V4 (102nm)

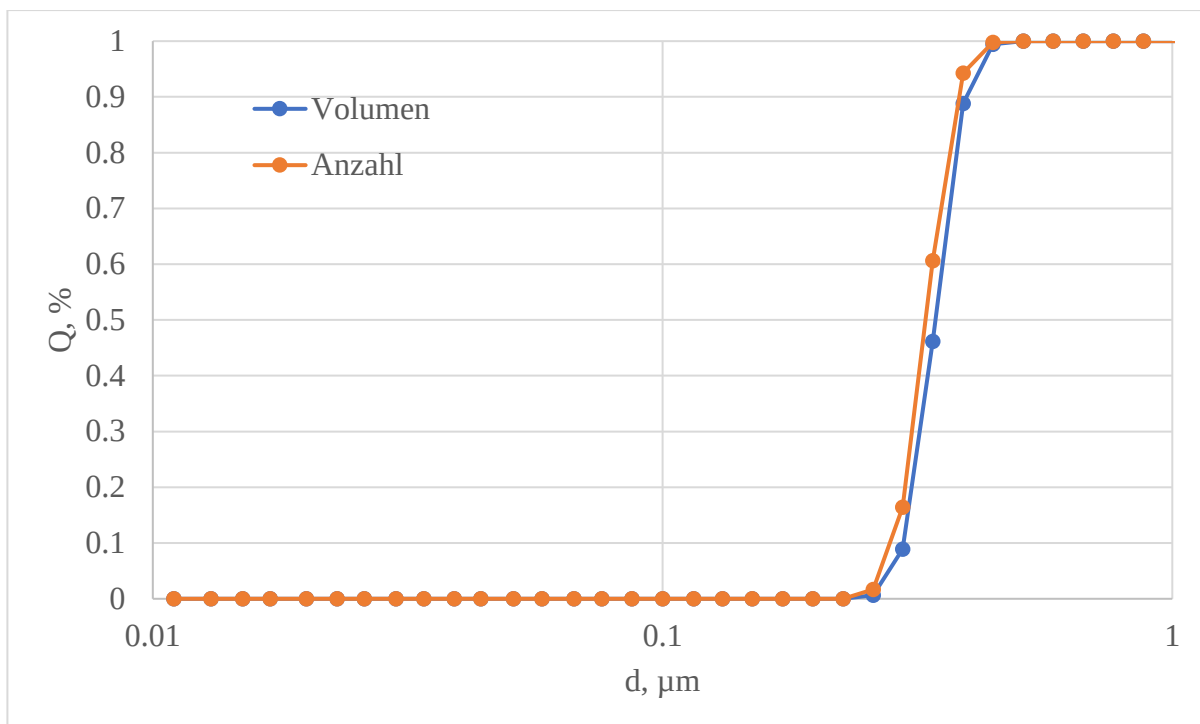


Рисунок 4.7 – Графік об'єму та розміру для зразка V9 (343 nm)

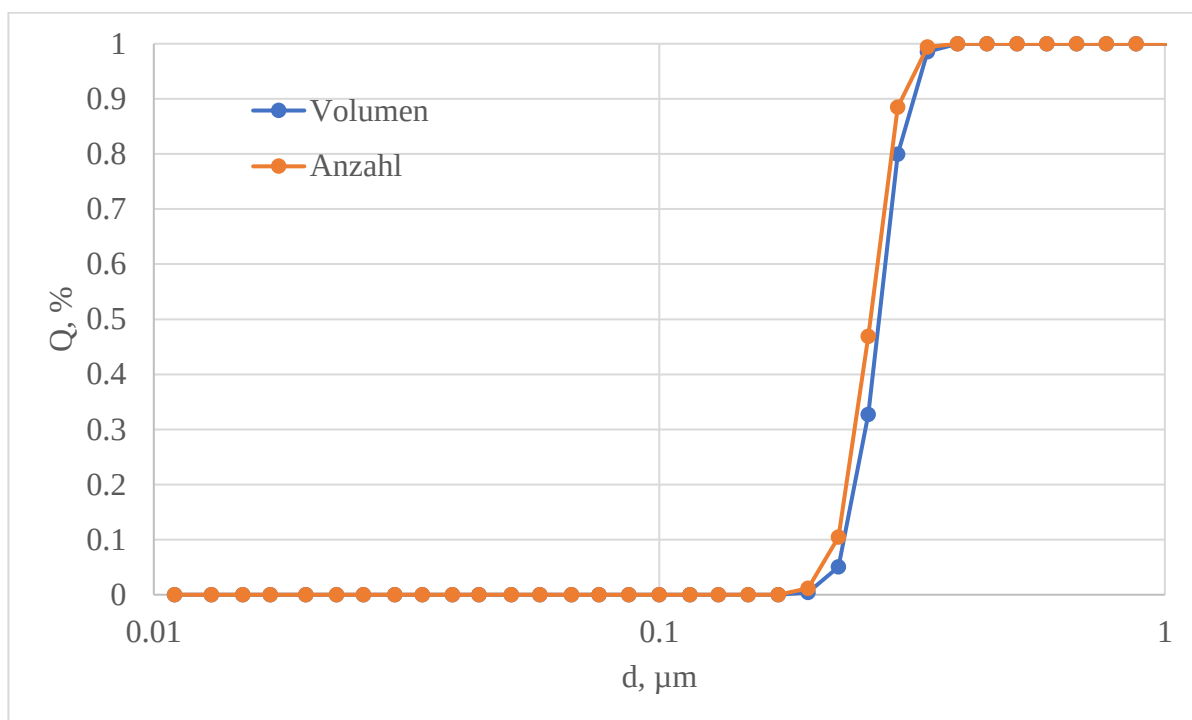


Рисунок 4.7 – Графік об'єму та розміру для зразка V11 (270 nm)

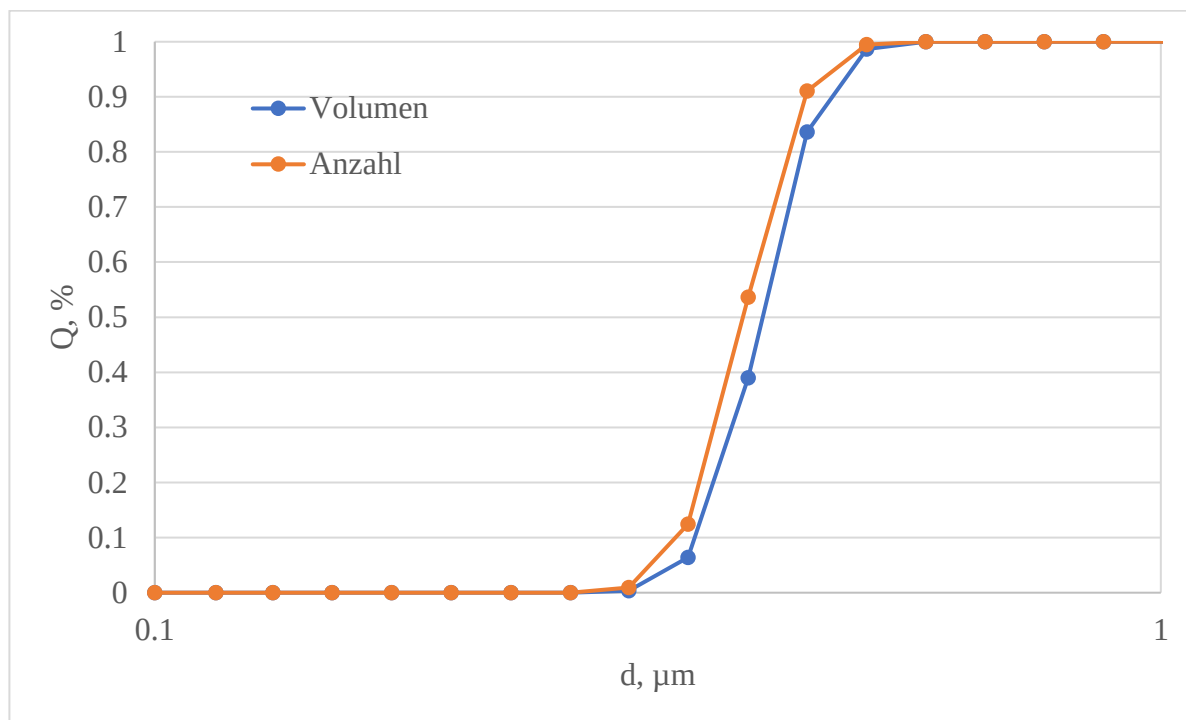
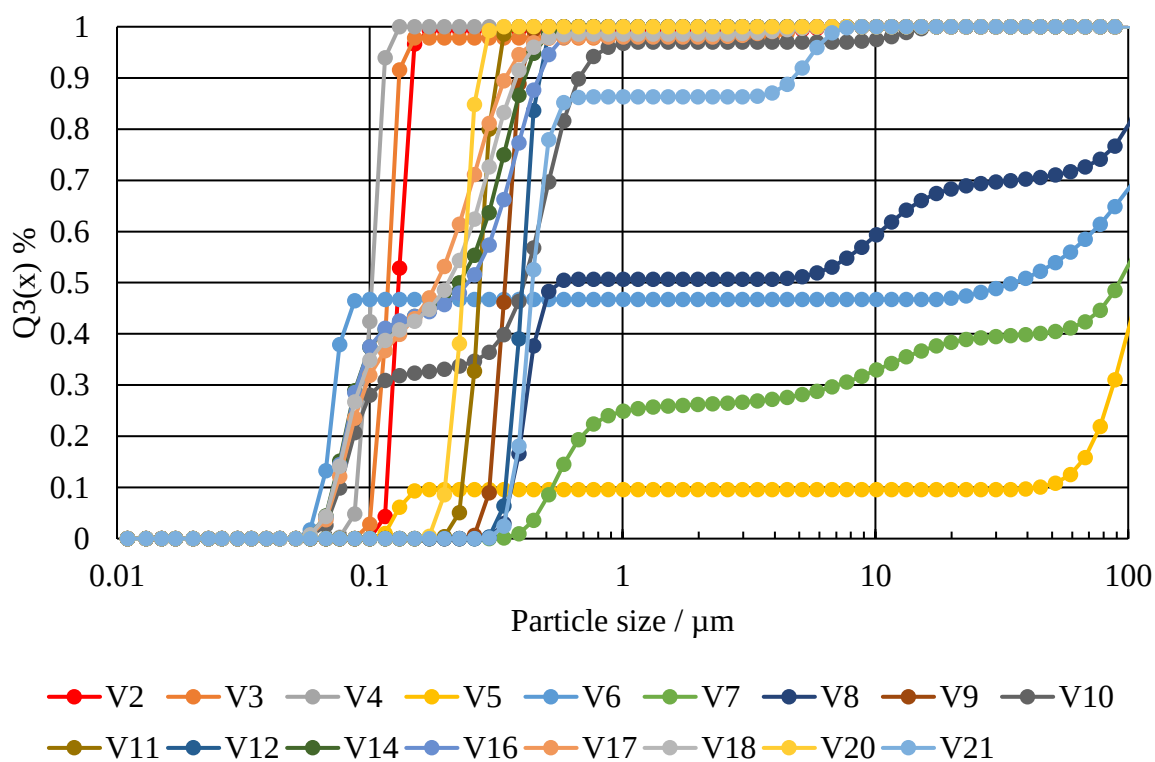
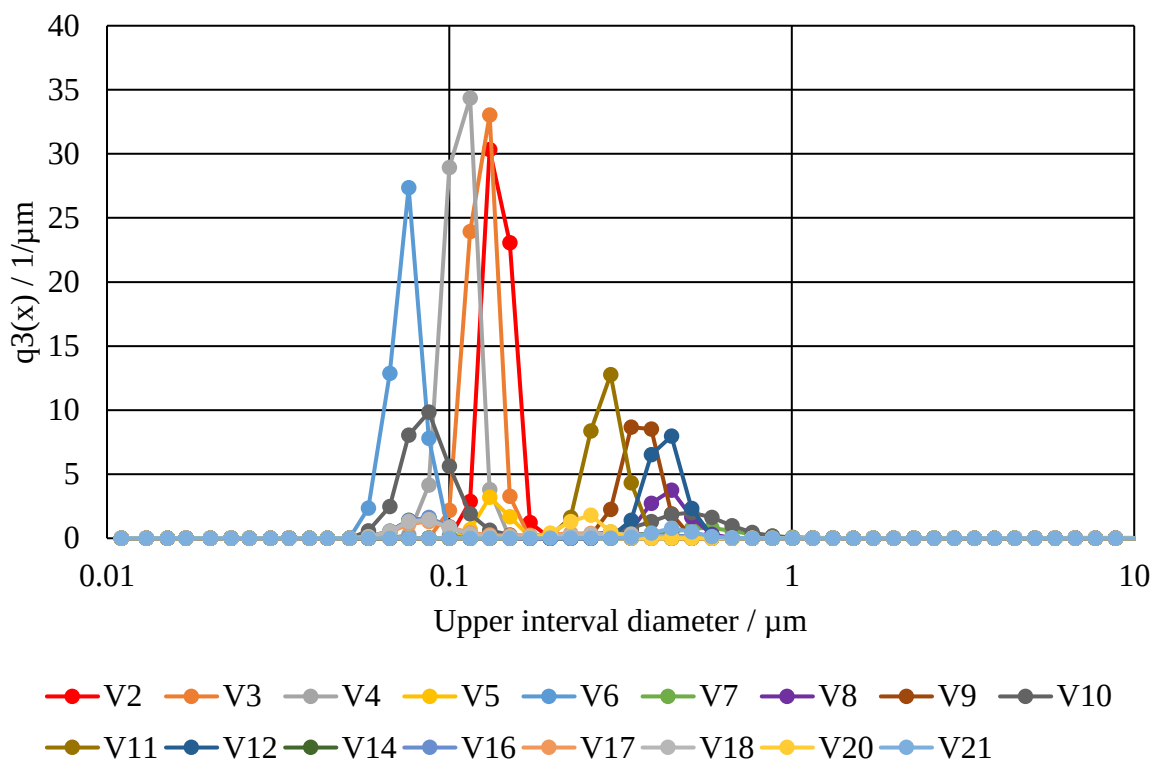


Рисунок 4.7 – Графік об'єму та розміру для зразка V12 (401 nm)





Визначення розміру наночастинок відбувалося за допомогою аналізатора розсіювання Horiba PLA-960

4.3 Розробка програмного скрипту для SDI/MFI вимірювань

Скріншот вікна запуску програми MATLAB показано на рисунку 4.10.

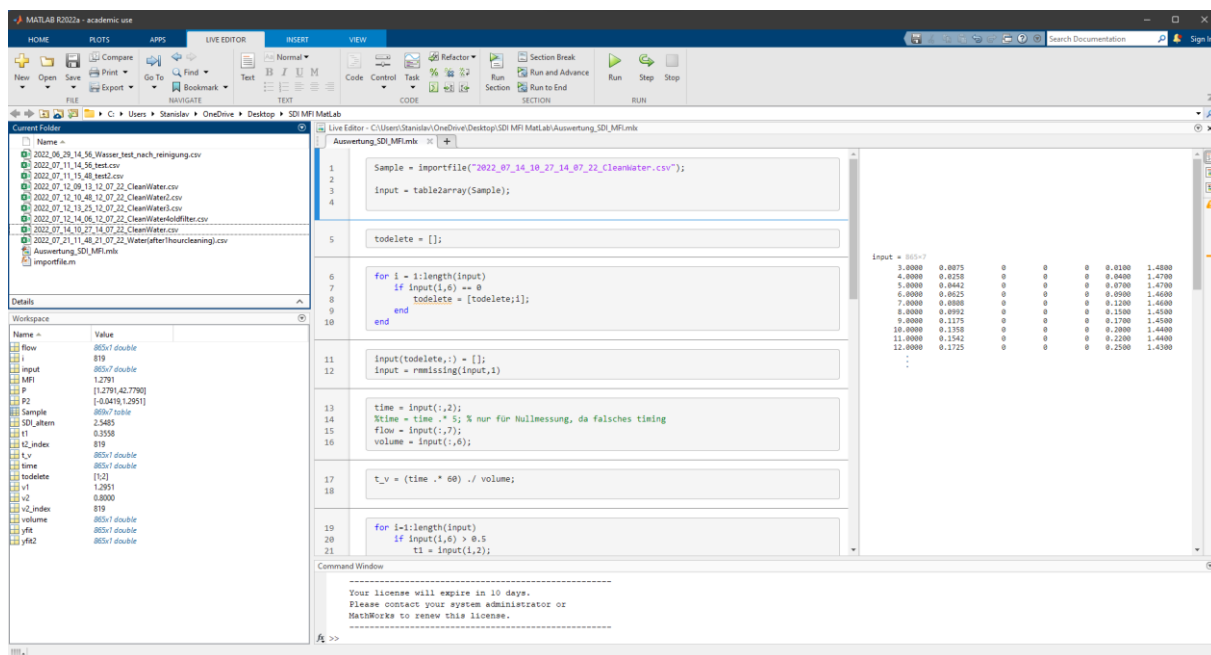


Рисунок 4.10 – Скріншот вікна запуску програми MATLAB

Написання програми для математичної обробки будемо створювати власноруч. Для вхідних даних будемо використовувати файли програми MS Excel, що отримали в результаті експерименту.

```
Sample = importfile("NAME OF THE SAMPLE FILE.csv");

input = table2array(Sample);

todelete = [];

for i = 1:length(input)
    if input(i,6) == 0
        todelete = [todelete;i];
    end
end

input(todelete,:) = [];
input = rmmissing(input,1)

time = input(:,2);
%time = time .* 5; % nur für Nullmessung, da falsches timing
flow = input(:,7);
volume = input(:,6);

t_v = (time .* 60) ./ volume;

for i=1:length(input)
    if input(i,6) > 0.5
        t1 = input(i,2);
        break
    end
end

for i=1:length(input)
    if input(i,2) > 15
        t2_index = i;
        break
    end
end

for i=1:length(input)
    if input(i,6) > (input(t2_index,6) + 0.5)
        t2 = input(i,2);
        t2 = t2-15.0;
        break
    end
end

P = polyfit(volume(150:400),t_v(150 :400),1);
MFI = P(1)

% SDI = (1-(t1/t2))*100/15.0

yfit = P(1)*volume+P(2);
```

```

plot(volume,t_v);
title('t/V-V-Diagramm')
xlabel('Filtratvolumen in L')
ylabel('t/V in s/L')
hold on;
plot(volume,yfit,'r-.');
hold off

% SDI Alternativ
plot(time,flow)
title('Durchfluss-Zeit-Diagramm')
xlabel('Zeit in min')
ylabel('Durchfluss in L/min')
P2 = polyfit(time,flow,1);
yfit2 = P2(1)*time+P2(2);
hold on
plot(time,yfit2)
hold off

for i=1:length(time)
    if input(i,2)>15
        v2_index = i;
        break
    end
end
v1 = P2(2);
v2 = flow(v2_index);
SDI_altern = (1-(v2/v1))*100/15.0

```

Рисунок 4.11 – Програмний код для визначення параметрів SDI та MFI

```

%IMPORTFILE Import data from a text file
% NULLMESSUNG = IMPORTFILE(FILENAME) reads data from text file FILENAME
% for the default selection. Returns the data as a table.
%
% NULLMESSUNG = IMPORTFILE(FILE, DATALINES) reads data for the
% specified row interval(s) of text file FILENAME. Specify DATALINES as
% a positive scalar integer or a N-by-2 array of positive scalar
% integers for dis-contiguous row intervals.
%
% Example:
% Nullmessung = importfile("C:\Messungen\Messungen Stefan
SDI\2022_05_11_11_51_Nullmessung.csv", [8, Inf]);
%
% See also READTABLE.

%% Input handling

% If dataLines is not specified, define defaults
if nargin < 2
    dataLines = [8, Inf];
end

%% Set up the Import Options and import the data
opts = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 7);

% Specify range and delimiter

```

```

opts.DataLines = datalines;
opts.Delimiter = ";";

% Specify column names and types
opts.VariableNames = ["no", "Timestamp", "T275Nm", "T405Nm", "T515Nm",
"FiltratvolumenInL", "DurchflussInLmin"];
opts.VariableTypes = ["double", "double", "double", "double", "double", "double",
"double"];

% Specify file level properties
opts.ExtraColumnsRule = "ignore";
opts.EmptyLineRule = "read";

% Import the data
Nullmessung = readtable(filename, opts);

End

```

Рисунок 4.12 – Додатковий код для «підтягування» файлів з папки з файлом коду

Програмний скрипт дозволяє провести аналіз тільки одного експерименту, тому для отримання результату для наступного потрібно власноруч змінювати вихідне ім'я Excel файлу.

Розрахунок буде виконуватися за допомогою програмного скрипту MATLAB за таким алгоритмом:

- 1) завантаження папки з вихідними даними до MATLAB;
- 2) зміна назви файлу з програми MS Excel для їх імпортування;
- 3) отримання MFI та SDI значень;
- 4) отримання $t/V-V$ та часової діаграм процесу

4.4 Розробка програмного скрипту для UV/Vis вимірювань

Обробка результатів для цього виду вимірювань буде застосовуватися з таким же способом. Написання програми для математичної обробки будемо створювати власноруч. Для вхідних даних будемо використовувати файли програми MS Excel, що отримали в результаті експерименту.

```

samplefile = 'SAMPLE NAME.csv'

offsetfile = 'OFFSET SAMPLE NAME.csv'

```

```

load("reference.mat")

Sample = importfile_UVIS(samplefile);

OffsetSample = importfile_UVIS(offsetfile);

input = table2array(Sample);

offsetinput = table2array(OffsetSample);

% Bestimmung der Transmission für die Wellenlängen 272, 405 und 515 nm
T = [input(45,2:end);input(311,2:end);input(531,2:end)];
Toff = [offsetinput(45,2);offsetinput(311,2);offsetinput(531,2)];
Tref = [reference_comp(45);reference_comp(311);reference_comp(531)];

T1 = T(1,:);
T1 = T1(~isnan(T1));
T1 = sum(T1) / length(T1);
T2 = T(2,:);
T2 = T2(~isnan(T2));
T2 = sum(T2) / length(T2);
T3 = T(3,:);
T3 = T3(~isnan(T3));
T3 = sum(T3) / length(T3);

Tavg = [T1;T2;T3];

% Offset berücksichtigen
Tavg = Tavg ./ Toff;

% Absorption der Messküvette mit reinem Wasser berücksichtigen
Tavg = Tavg ./ Tref

% Bestimmung der Extinktion für die Wellenlängen 272, 405 und 515 nm
E = -log(Tavg)

% Bestimmung der Extinktionsverhältnisse
E12 = E(1) / E(2)
E13 = E(1) / E(3)
E23 = E(2) / E(3)

```

Рисунок 4.13 – Программний код для отримання UV/Vis параметрів

Вихідними параметрами для цього коду є референс даних з чистою водою, також для коректності проводимо «нульовий» вимір для кожного нового зразка, який буде слугувати основою для зрівняння у програмній складовій.

```

%IMPORTFILE1 Import data from a text file
% PROBEA2 = IMPORTFILE1(FILENAME) reads data from text file FILENAME

```

```

% for the default selection. Returns the data as a table.
%
% PROBEA2 = IMPORTFILE1(FILE, DATALINES) reads data for the specified
% row interval(s) of text file FILENAME. Specify DATALINES as a
% positive scalar integer or a N-by-2 array of positive scalar integers
% for dis-contiguous row intervals.
%
% Example:
% ProbeA2 = importfile1("C:\Messungen\Messungen Stefan SDI\Rohwerte\UVVIS Rohwerte\Probe
A2.csv", [3, Inf]);
%
% See also READTABLE.
%
% Auto-generated by MATLAB on 16-May-2022 08:26:37

%% Input handling

% If dataLines is not specified, define defaults
if nargin < 2
    dataLines = [3, Inf];
end

%% Set up the Import Options and import the data
opts = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 15);

% Specify range and delimiter
opts.DataLines = dataLines;
opts.Delimiter = ";";

% Specify column names and types
opts.VariableNames = ["nm", "T", "VarName3", "VarName4", "VarName5", "VarName6",
"VarName7", "VarName8", "VarName9", "VarName10", "VarName11", "VarName12", "VarName13",
"VarName14", "VarName15"];
opts.VariableTypes = ["double", "double", "double", "double", "double", "double",
"double", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "double",
"double"];

% Specify file level properties
opts.ExtraColumnsRule = "ignore";
opts.EmptyLineRule = "read";

% Specify variable properties
opts = setvaropts(opts, ["nm", "T", "VarName3", "VarName4", "VarName5", "VarName6",
"VarName7", "VarName8", "VarName9", "VarName10", "VarName11", "VarName12", "VarName13",
"VarName14", "VarName15"], "DecimalSeparator", ",");
opts = setvaropts(opts, ["nm", "T", "VarName3", "VarName4", "VarName5", "VarName6",
"VarName7", "VarName8", "VarName9", "VarName10", "VarName11", "VarName12", "VarName13",
"VarName14", "VarName15"], "ThousandsSeparator", ".");

% Import the data
ProbeA2 = readtable(filename, opts);

end

```

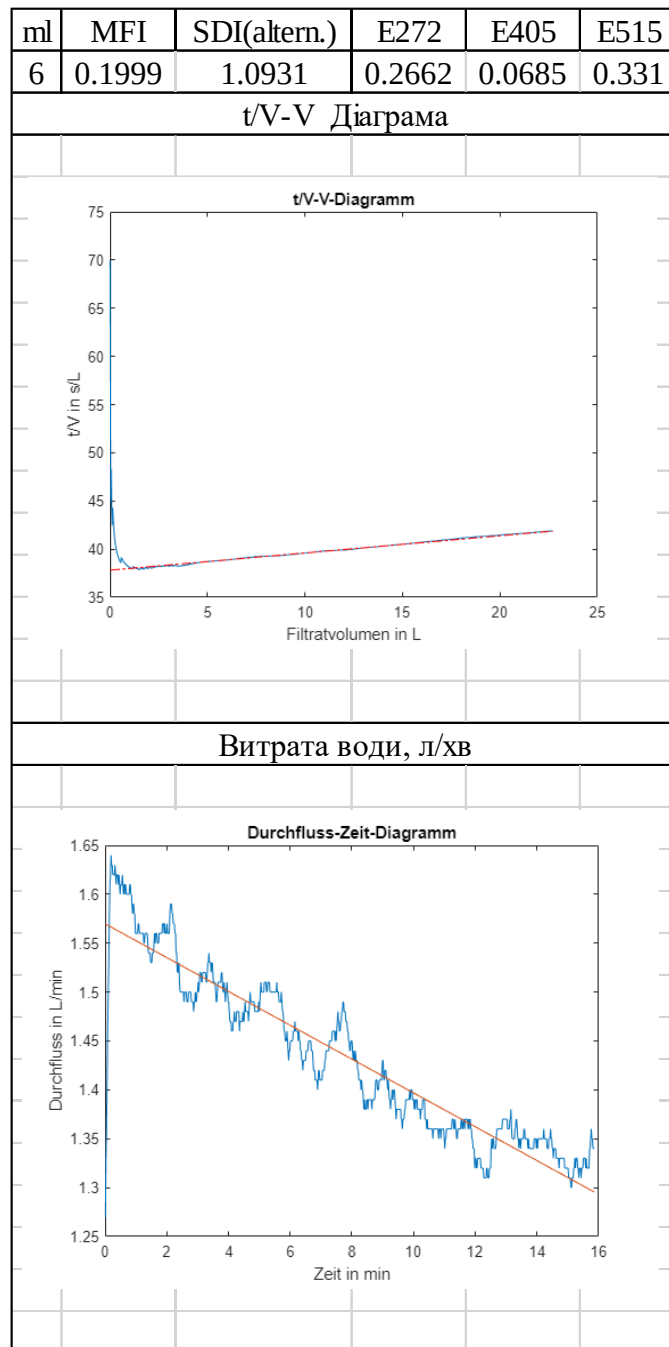
Рисунок 4.14 – Додатковий код для «підтягування» та зчитування файлів з папки

У результаті кожного програмного аналізу будемо отримувати три значення E272, E405, E515, які будуть слугувати у подальшій побудові графіків залежності.

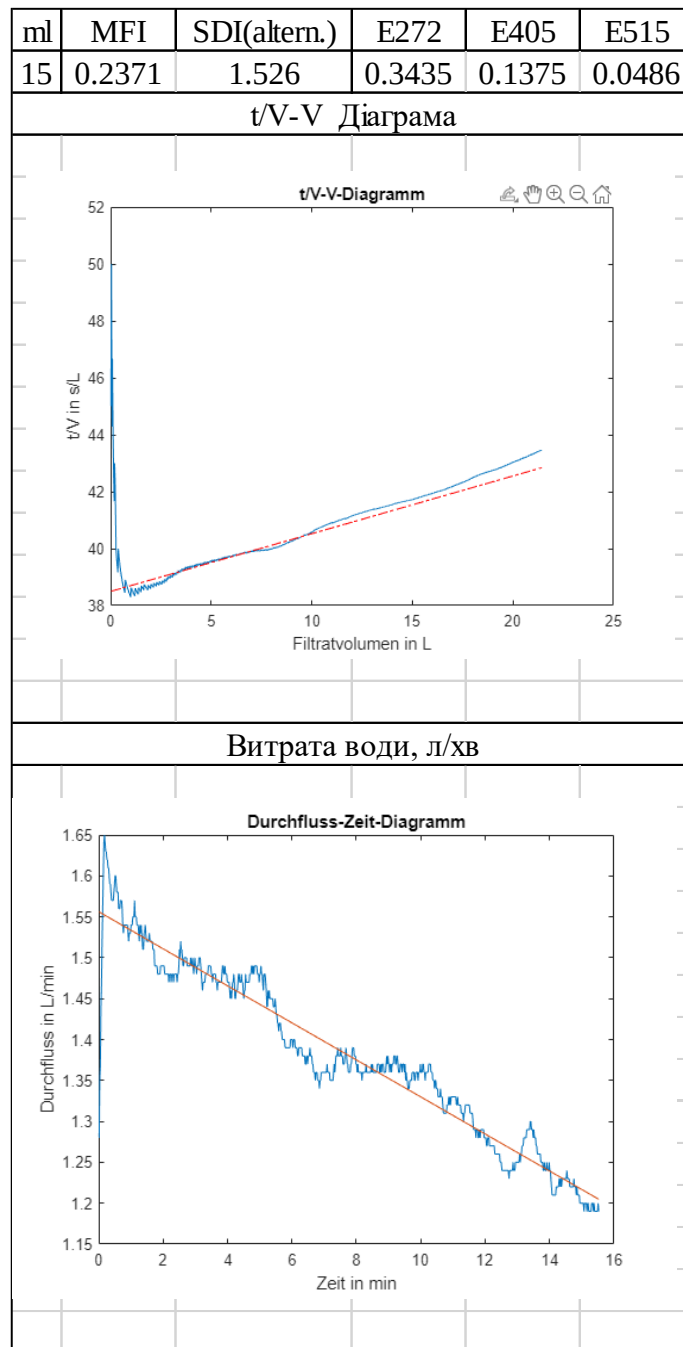
4.5 Аналіз результатів отриманих в системі MATLAB

Отримані результати математичної обробки MATLAB представимо у вигляді таблиць, 4.1 – 4.14 графіків, та діаграм, та розділимо їх на дві експериментальні частини. Всі результати отримані за допомогою математичної обробки MATLAB. Отримано наступні результати: опір фільтруючого середовища та витрати для зразка V4 (102nm), V9 (343 nm), V11 (270 nm), V12 (401 nm) та залежність вимирання світлового потоку до ступені забруднення мембрани для зразків V4 (102nm), V9 (343 nm), V11 (270 nm), V12 (401 nm).

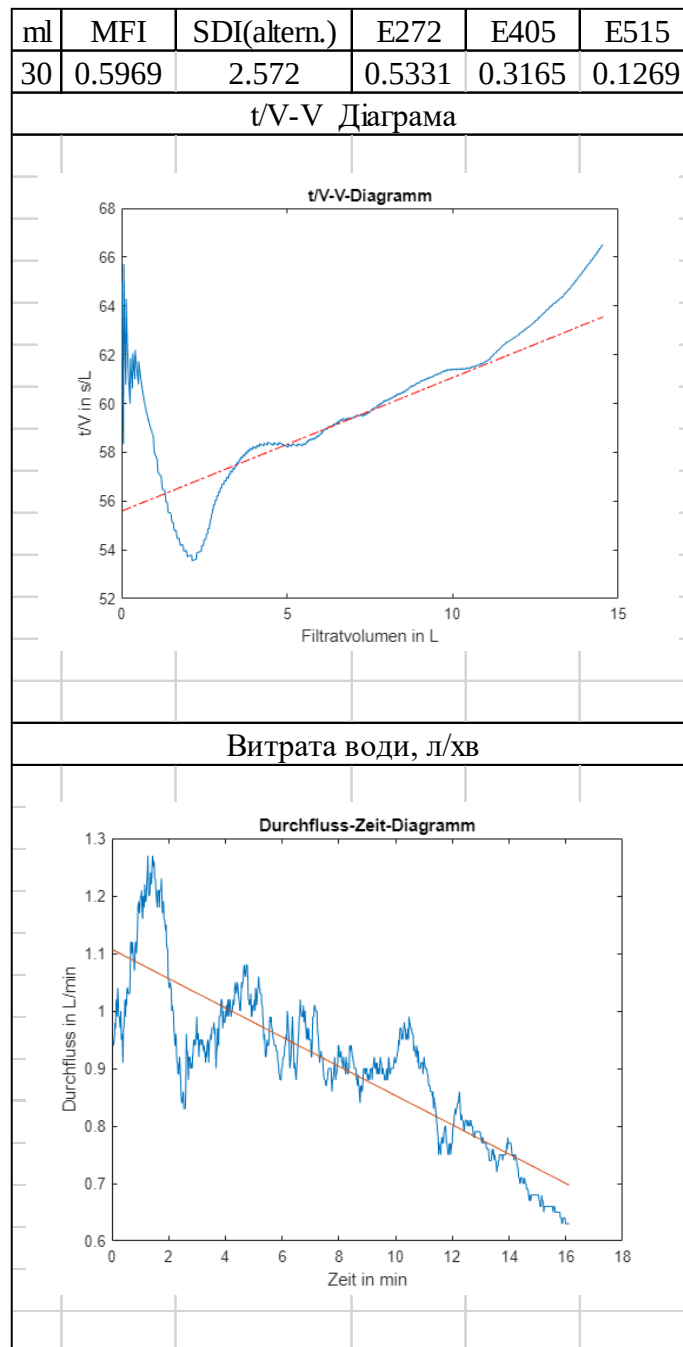
Таблиця 4.1 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V4 (102nm) концентрацією 6 мл.



Таблиця 4.2 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V4 (102nm) концентрацією 15 мл.



Таблиця 4.3 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V4 (102nm) концентрацією 30 мл.



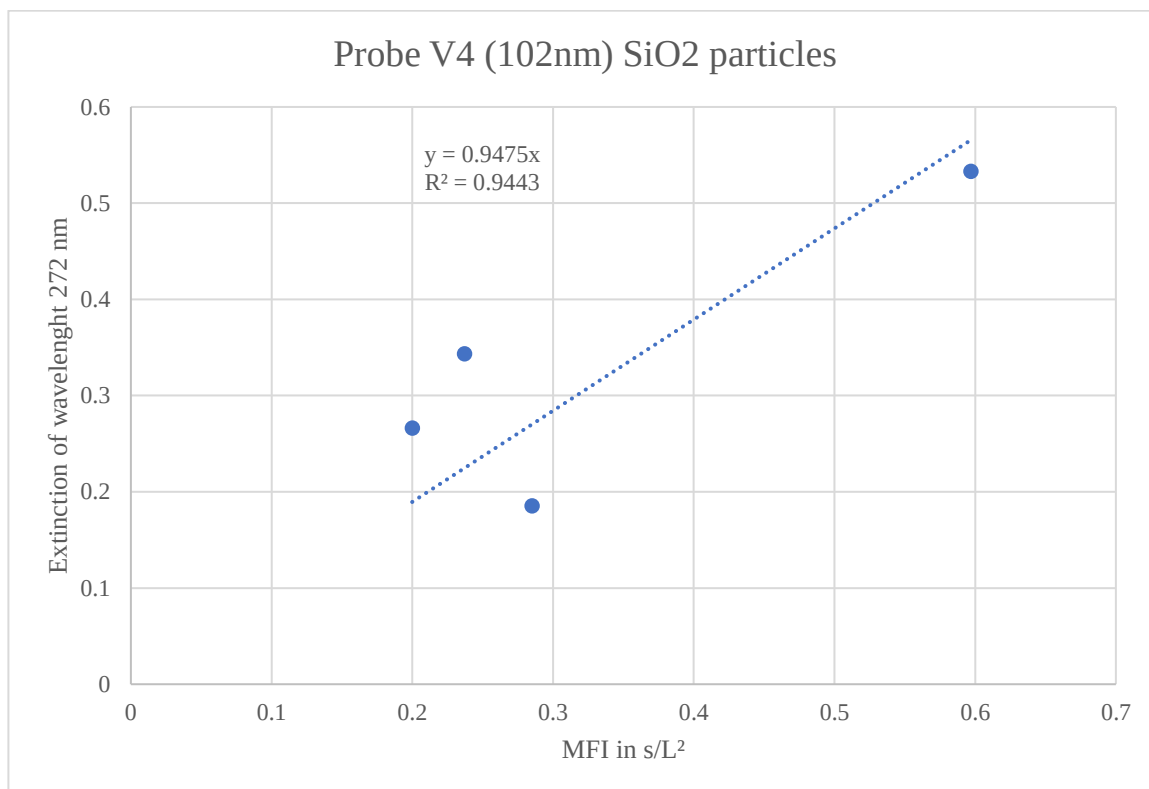
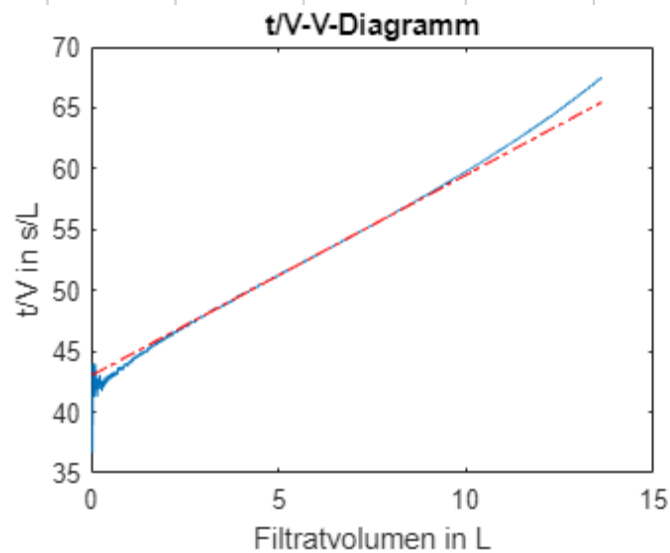


Рисунок 4.15 – Таблиця залежності вимирання світлового потоку до ступені забруднення мембрани для зразка V4 (102nm)

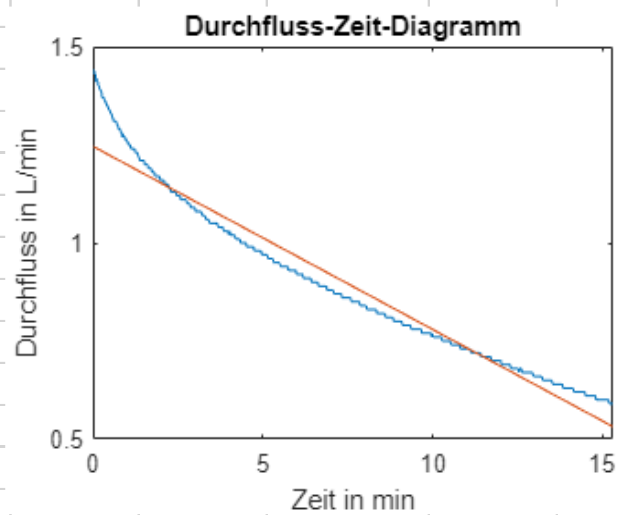
Таблиця 4.4 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V9 (343 nm) концентрацією 2 мл.

ml		MFI	SDI (altern.)	E 272	E405	E515
2	1	1.94	4.15	0.0901	0.092	0.1758
	2	1.6	3.4	0.0902	0.0592	0.153
	3	2.5	4.4	0.1121	0.1141	0.183
	4	2.2	4.1	0.0824	0.0989	0.1718

t/V-V Діаграма



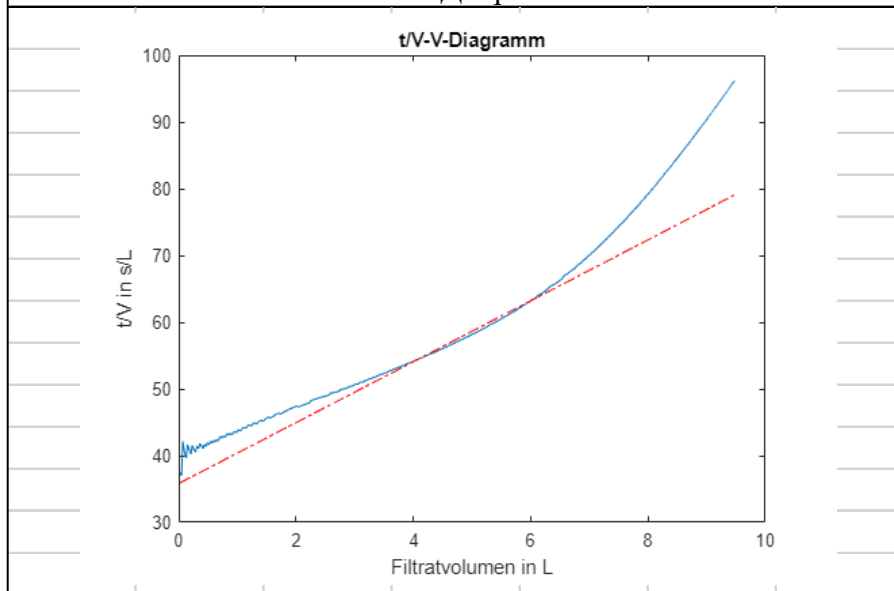
Витрата води, л/хв



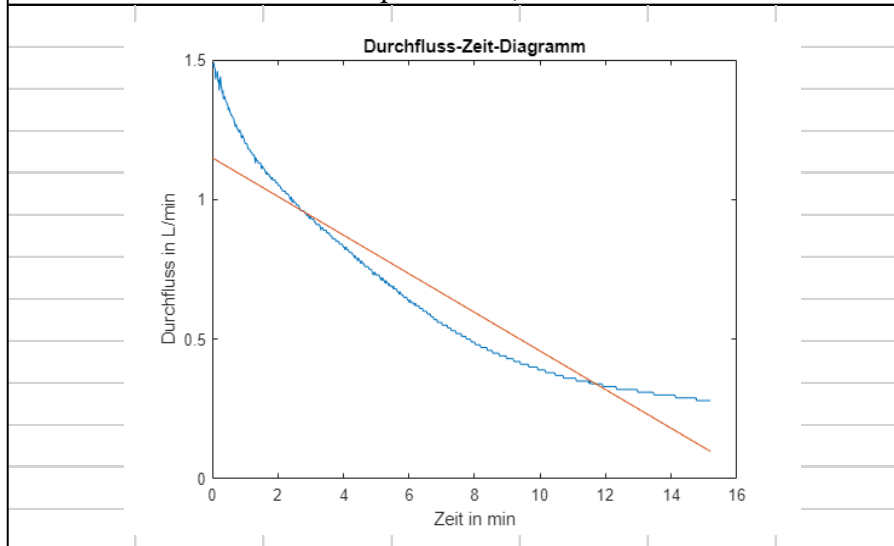
Таблиця 4.5 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V9 (343 nm) концентрацією 4 мл.

ml	trial	MFI	DI (altern	E 272	E405	E515
4	1	4.5	5.01	0.3095	0.1937	0.2281
	2	4.4	5.02	0.302	0.1899	0.2217
	3	6.9	5	0.3598	0.2128	0.2347
	4	5	4.92	0.3081	0.1888	0.2218

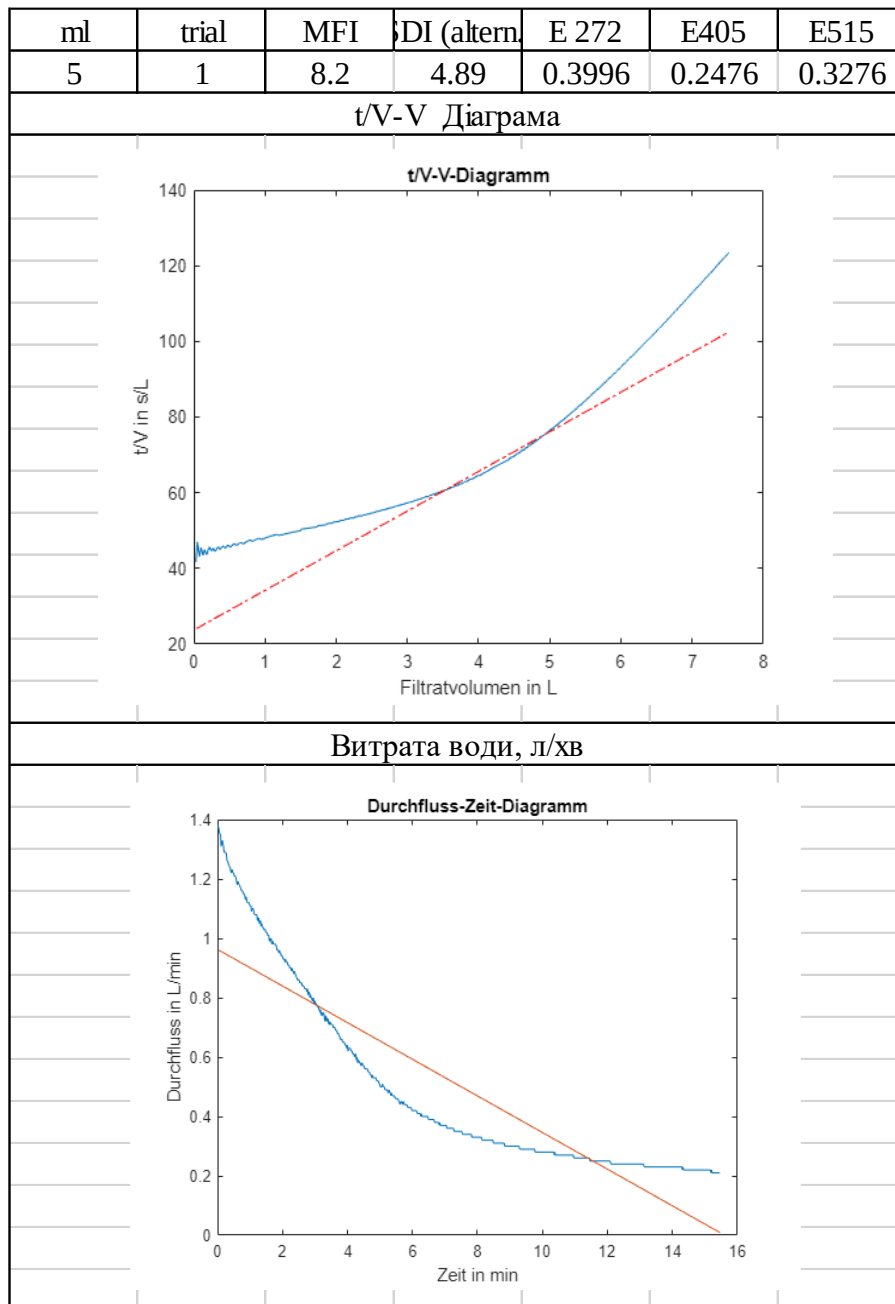
t/V-V Діаграма



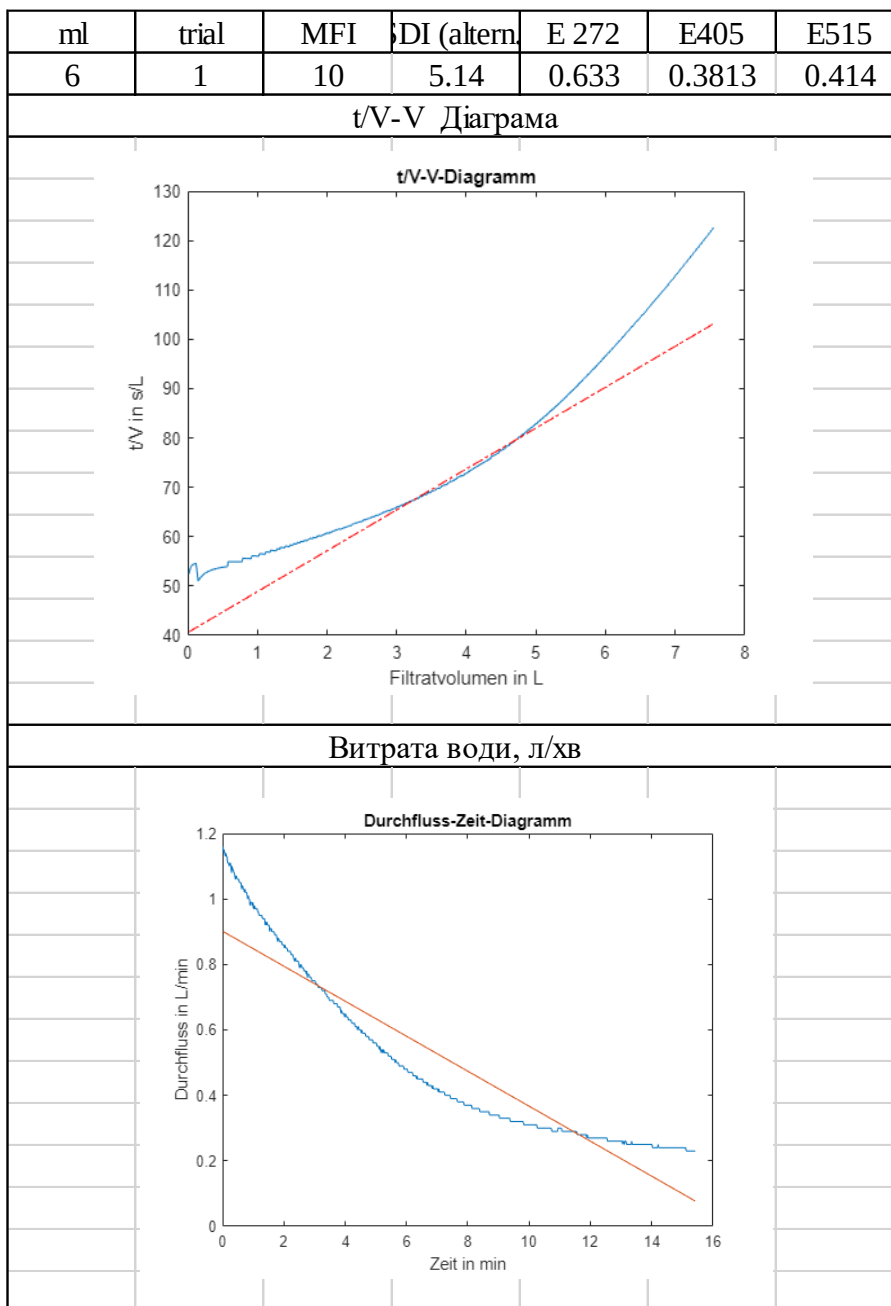
Витрата води, л/хв



Таблиця 4.6 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V9 (343 nm) концентрацією 5 мл.



Таблиця 4.7 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V9 (343 nm) концентрацією 6 мл.



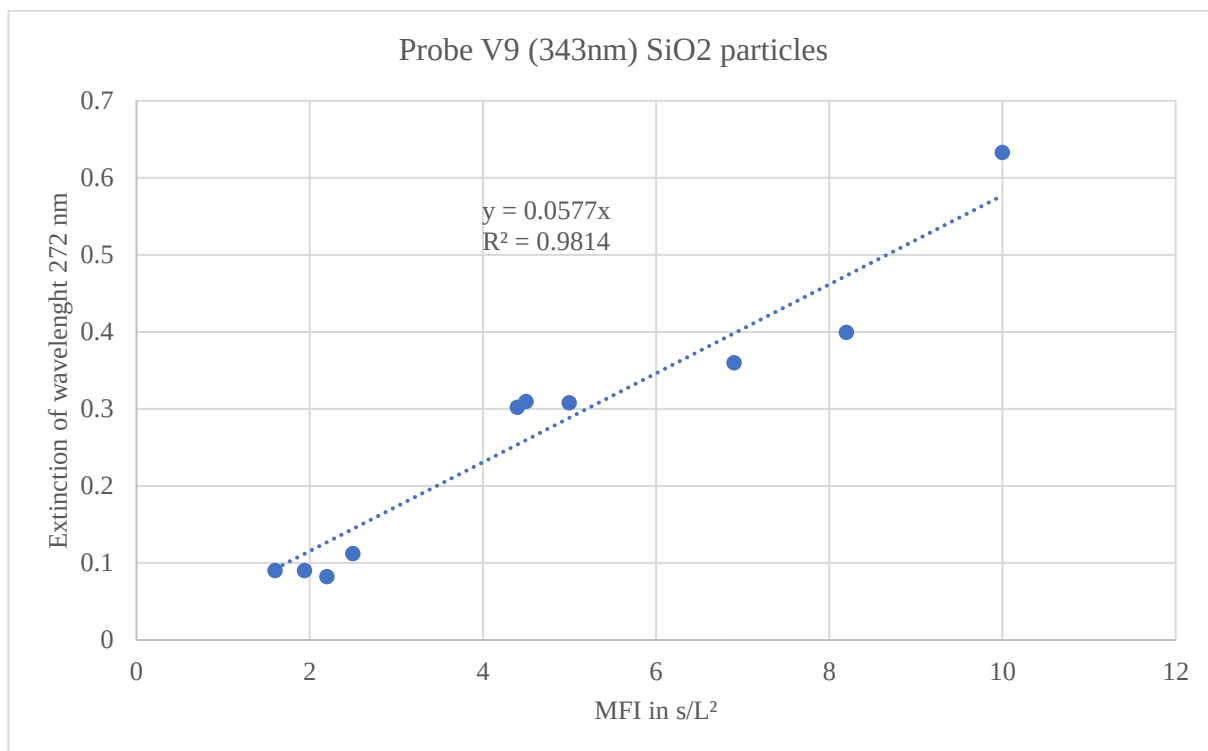
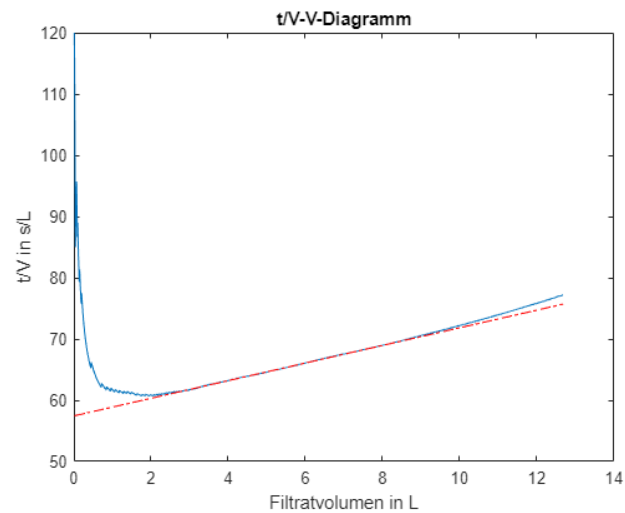


Рисунок 4.16 – Таблиця залежності вимирання світлового потоку до ступені забруднення мембрани для зразка V9 (343 nm)

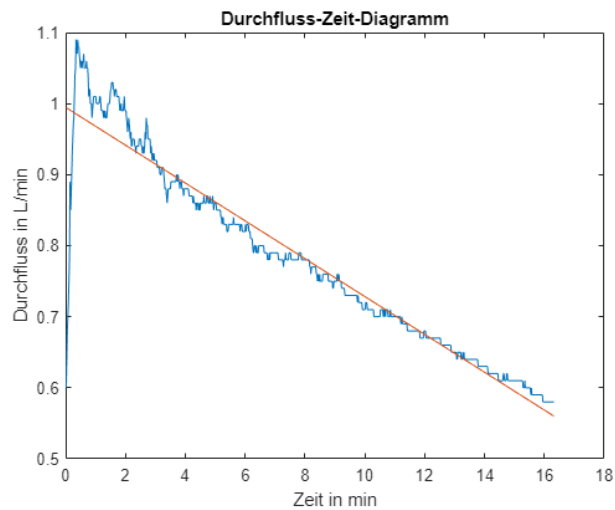
Таблиця 4.8 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V11 (270 nm) концентрацією 1 мл.

ml	trial	MFI	SDI(altern.)	E272nm	E405	E515
1	1	1.404	2.5785	0.0346406	0.0268934	0.0092094
	2	1	1.6629	0.0289596	0.0170518	0.0071581
	3	1.628	1.909	0.0516279	0.0219749	0.0178869

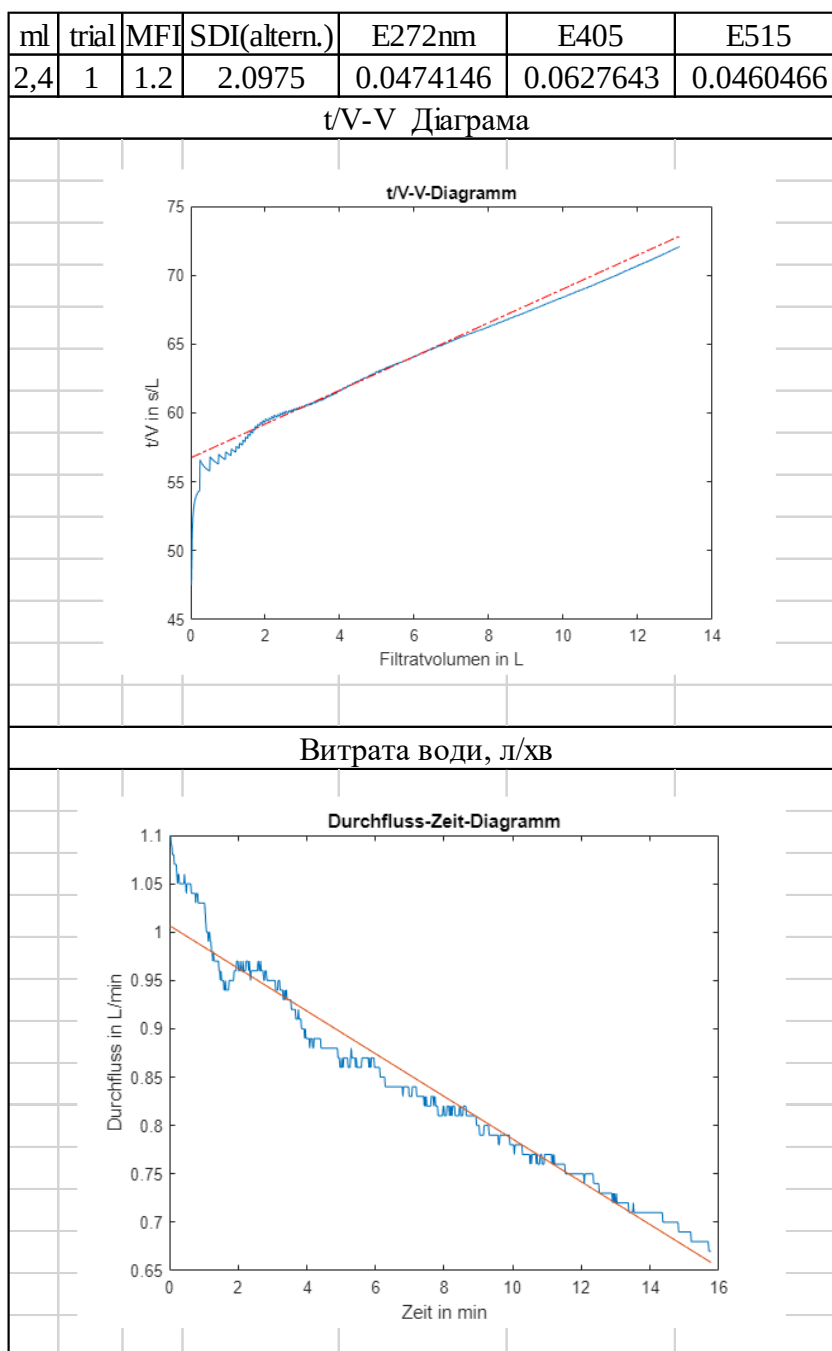
t/V-V Діаграма



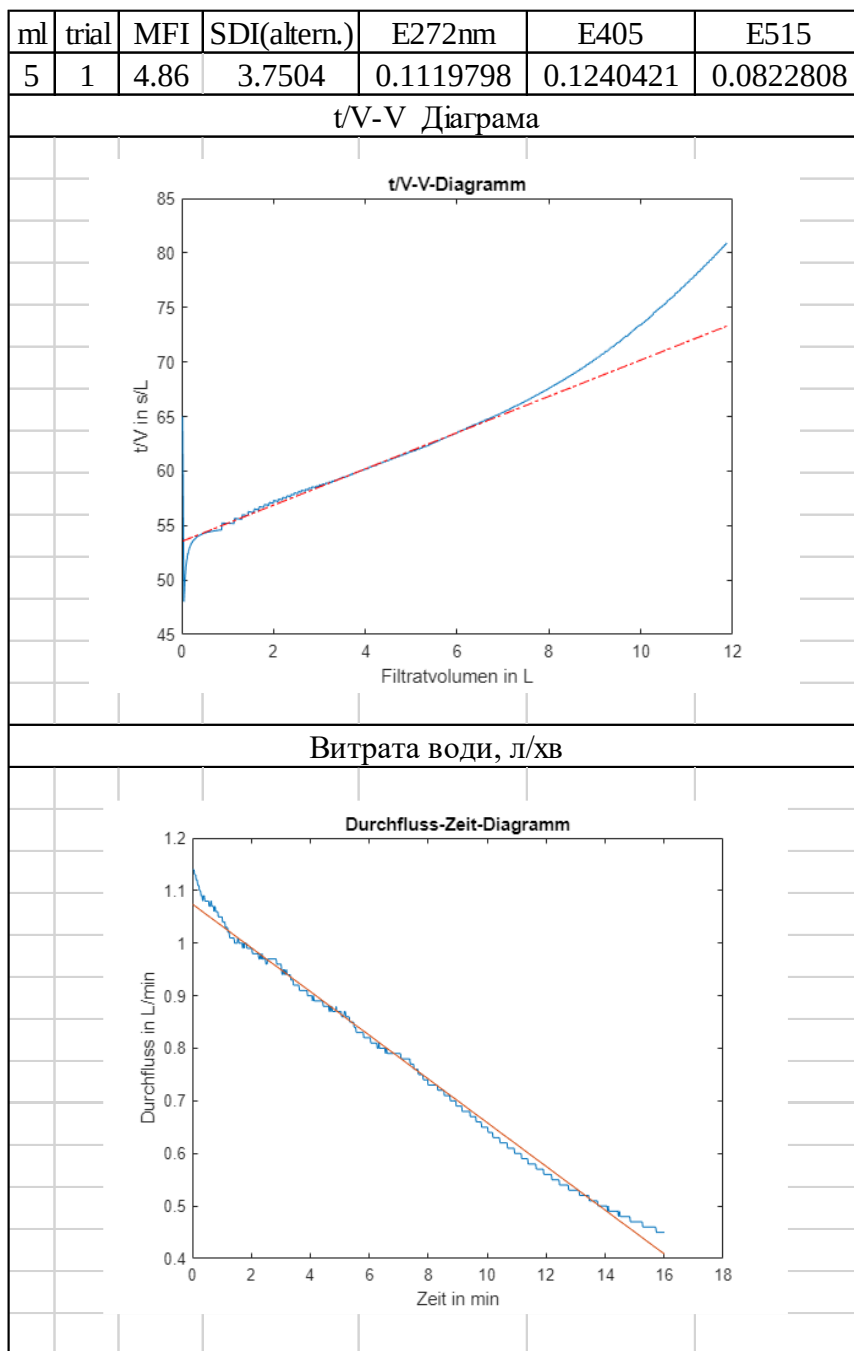
Витрата води, л/хв



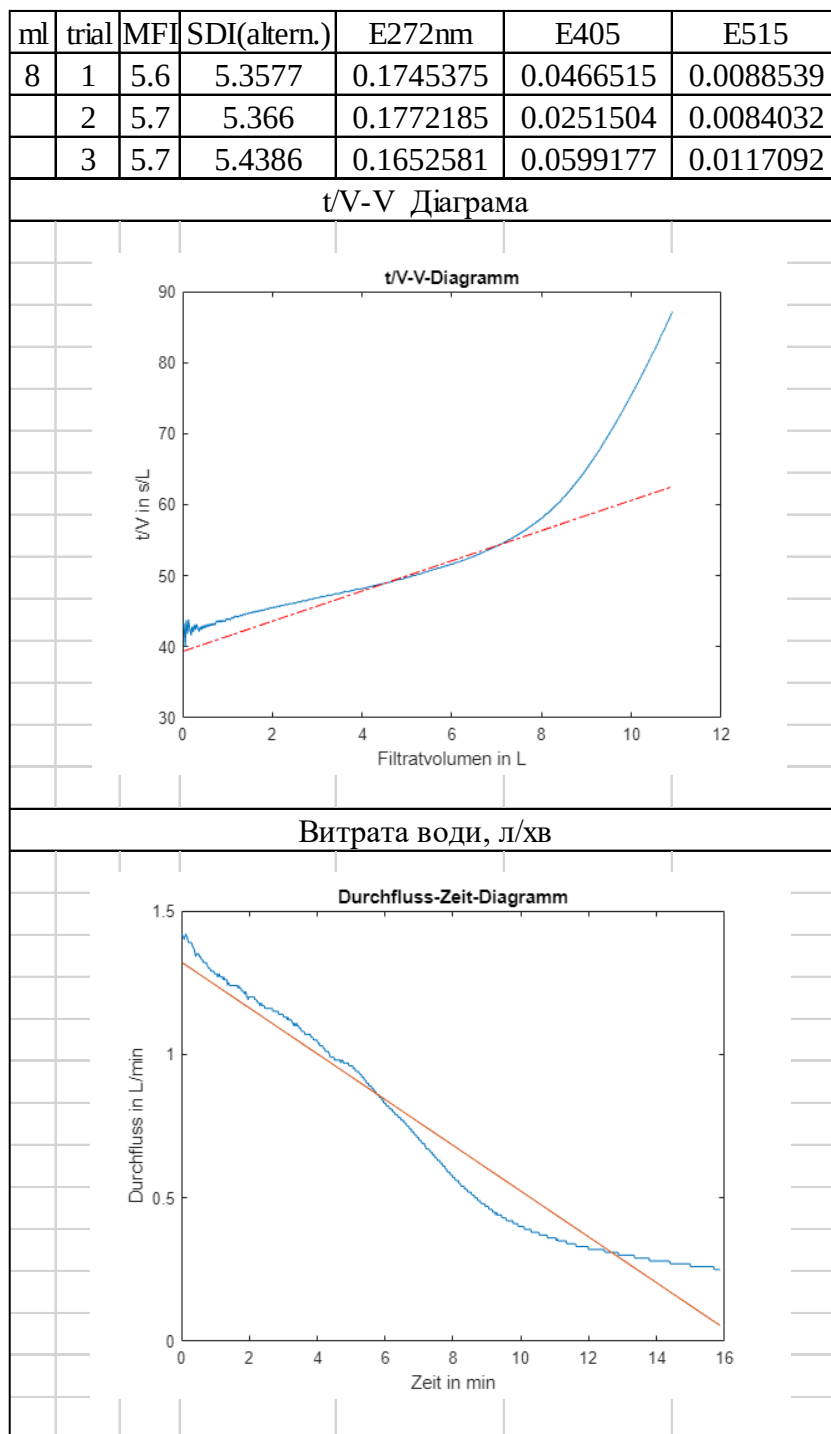
Таблиця 4.9 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V11 (270 nm) концентрацією 2,4 мл.



Таблиця 4.10 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат
для зразка V11 (270 nm) концентрацією 5 мл.



Таблиця 4.11 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат
для зразка V11 (270 nm) концентрацією 8 мл.



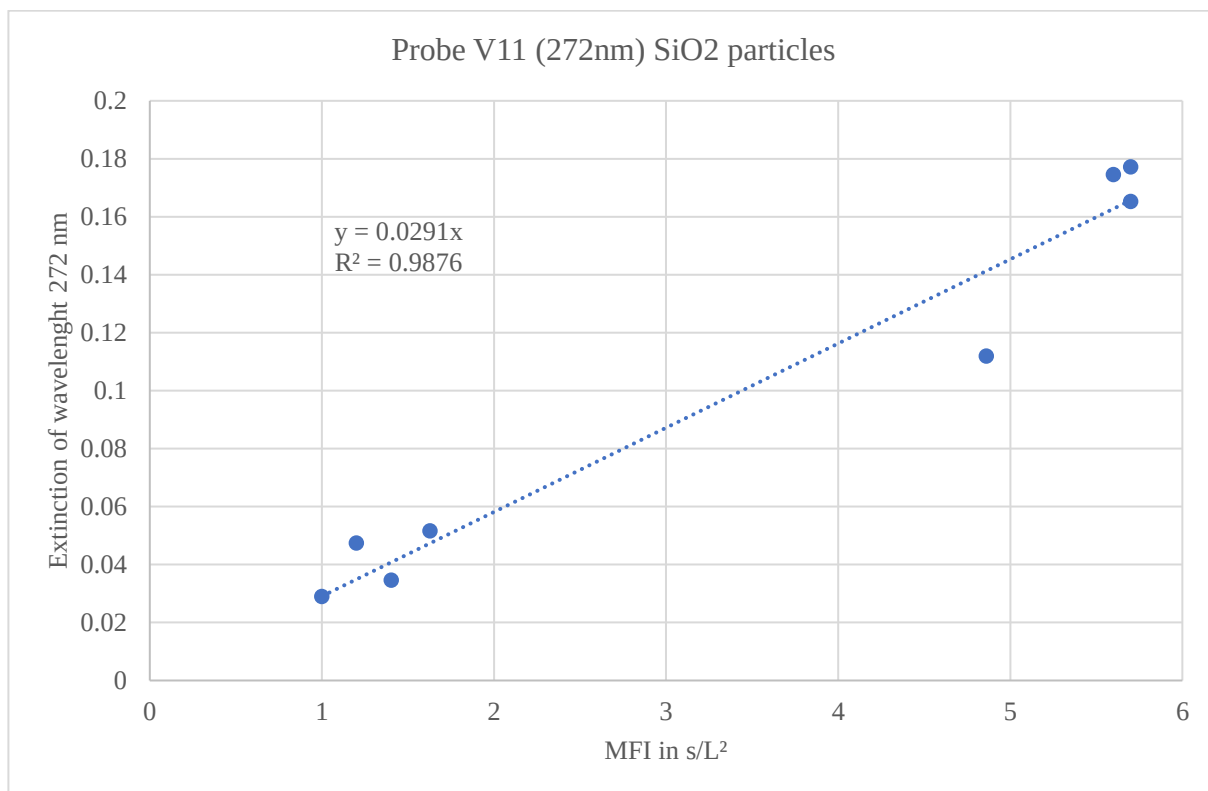
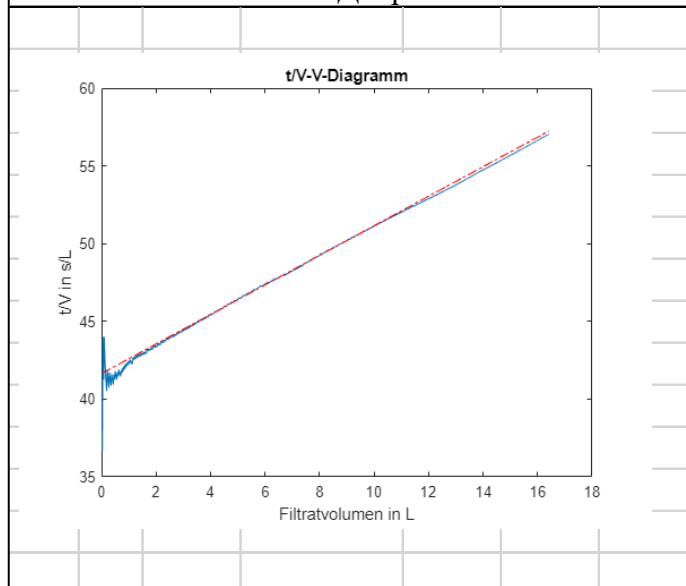


Рисунок 4.17 – Таблиця залежності вимирання світлового потоку до ступені забруднення мембрани для зразка V11 (270 nm)

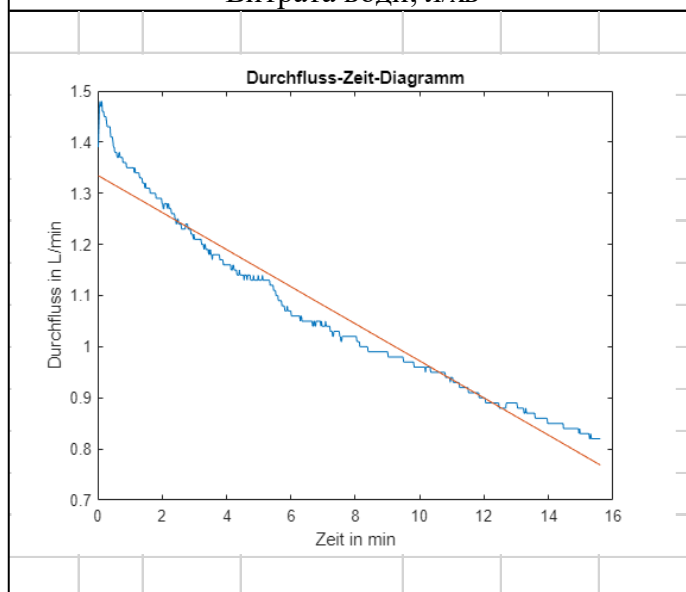
Таблиця 4.12 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V12 (401 nm) концентрацією 0,4 мл.

ml	trial	MFI	SDI (altern.)	E 272	E405	E515
0.4	1	0.954	2.5223	0.053	0.036	0.039
	2	0.91	2.4817	0.06	0.037	0.03
	3	0.793	2.3115	0.056	0.032	0.035

t/V-V Діаграма



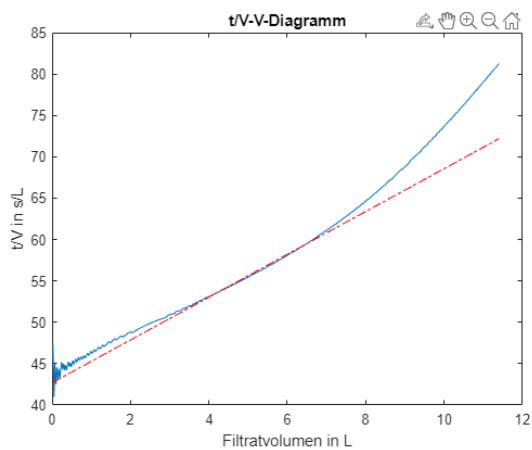
Витрата води, л/хв



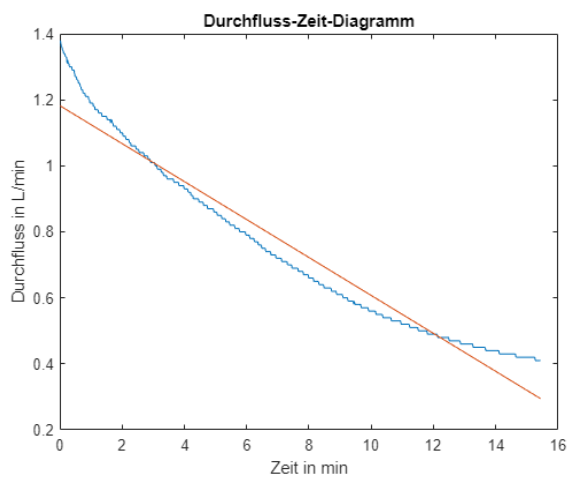
Таблиця 4.13 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V12 (401 nm) концентрацією 2 мл.

ml	trial	MFI	SDI (altern.)	E 272	E405	E515
2	1	3.925	4.3977	0.413	0.125	0.054
	2	4.2	4.4	0.409	0.122	0.054
	3	3.9	4.3422	0.39	0.111	0.046

t/V-V Діаграма



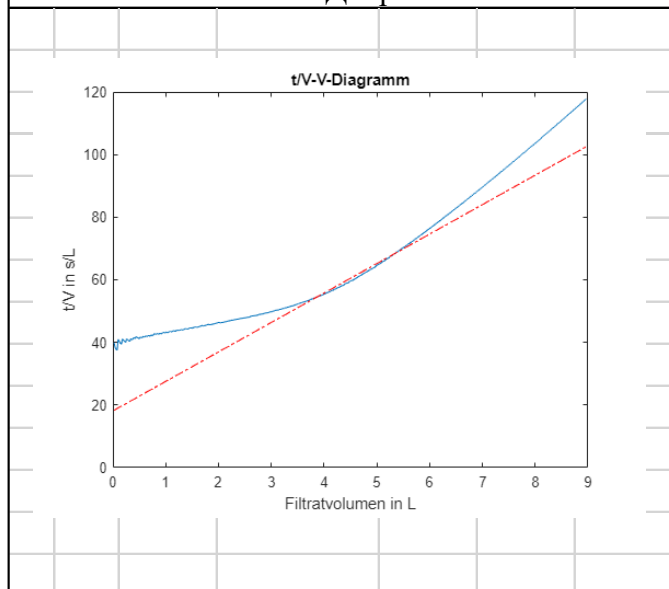
Витрата води, л/хв



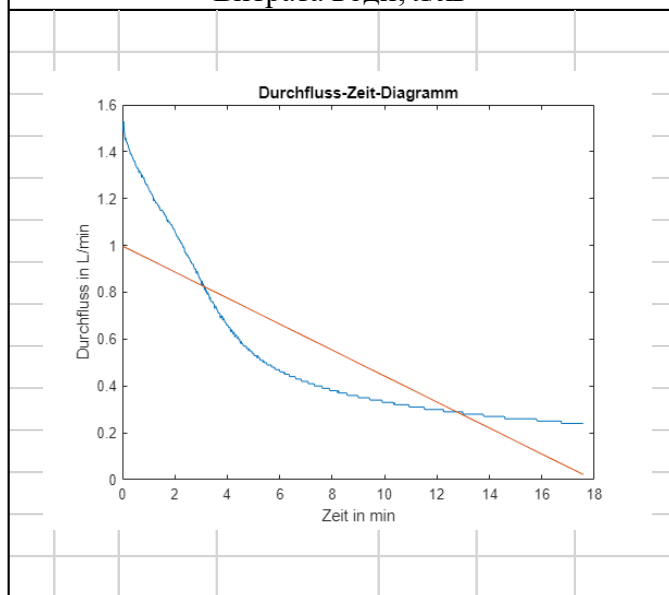
Таблиця 4.14 – Отримані результати опору фільтруючого середовища та витрат для зразка V12 (401 nm) концентрацією 5 мл.

ml	trial	MFI	SDI (altern.)	E 272	E405	E515
5	1	8.666	4.9293	0.999	0.454	0.291
5	2	7.694	4.7427	0.705	0.325	0.215

t/V-V Діаграма



Витрата води, л/хв



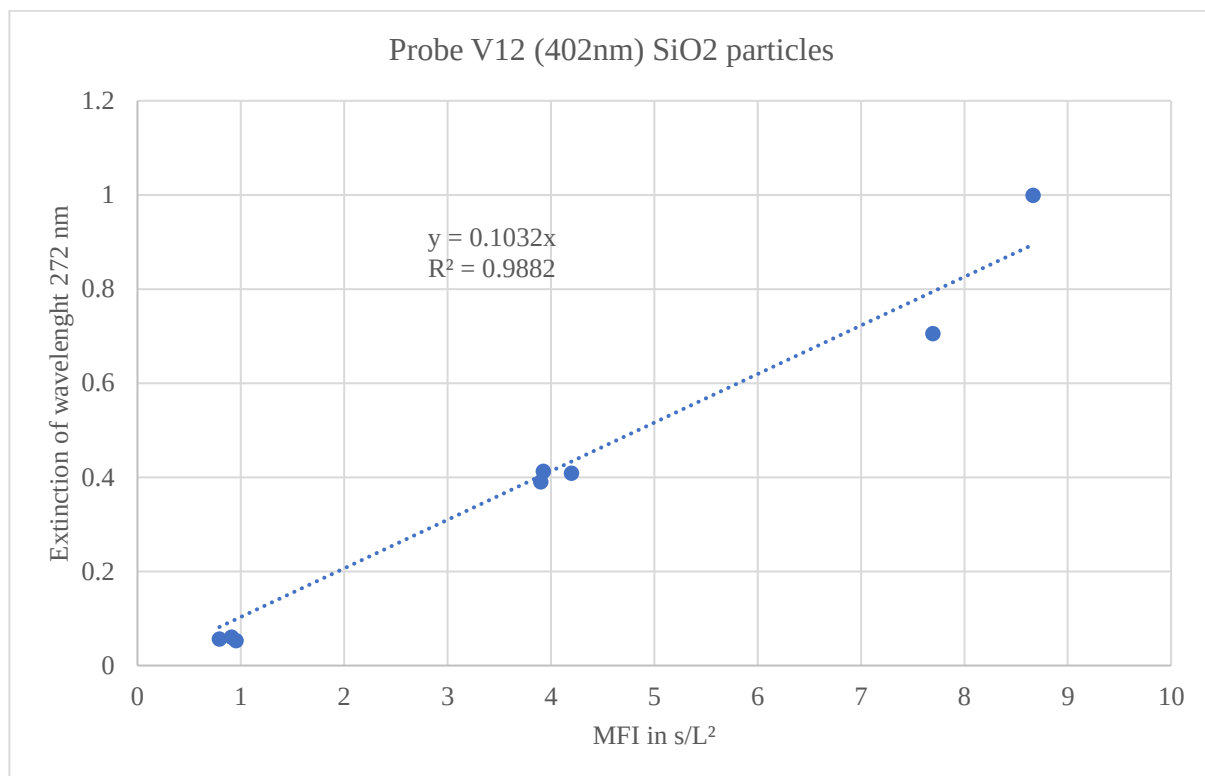


Рисунок 4.18 – Таблиця залежності вимирання світлового потоку до ступені забруднення мембрани для зразка V12 (401 nm)

4.6 Висновки до розділу

Проведення експериментів із визначенням залежності вимирання світлового потоку до ступені забруднення в табл. 4.15 – 4.18. Найбільше значення коефіцієнту детермінації, отримано при експерименті з нано частиками 402nm. Це означає, що ці частинки мають найбільшу кореляцію, тому можна казати про найбільшу залежність складових у проведених експериментах.

5 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННОГО ФІЛЬТРА, ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Розробка геометричної моделі камери

5.1.1 Побудова моделі та задання початкових та граничних умов

Побудована геометрична модель мембранного модулю для розрахунку в CFD, представлена на рис. 5.1

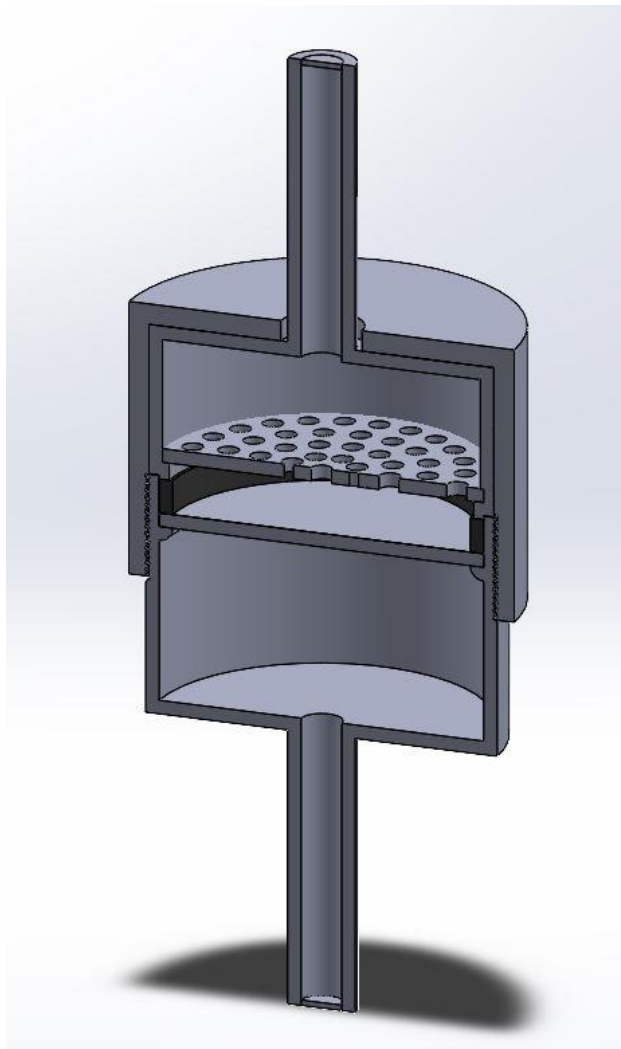


Рисунок 5.1 – Геометрична модель мембранного модулю

Після створення геометричної моделі камери, визначимося із параметрами сітки та граничними умовами до розрахунку.

Початкові умови для задачі задамо наступні:

- фізичні моделі – гравітація в напрямку вісі Y (–9,81);
- в якості рідини який буде проходити крізь камеру – вода (H₂O).

Термодинамічні параметри газу на початок розрахунку:

- температура –20 °C;
- тиск – 0,2 МПа.

Розрахунок траєкторій руху частинок, виконаємо із наступними умовами:

- матеріал частинок – сіліційум діоксид;
- кількість частинок на вході задамо у якості 200 шт;
- розмір частинок – 102, 343, 270 нм;
- параметри на стінках – відскок;
- параметри на мембрані – прилипання.

Початок руху частинок в моделі, надходить разом із водою.

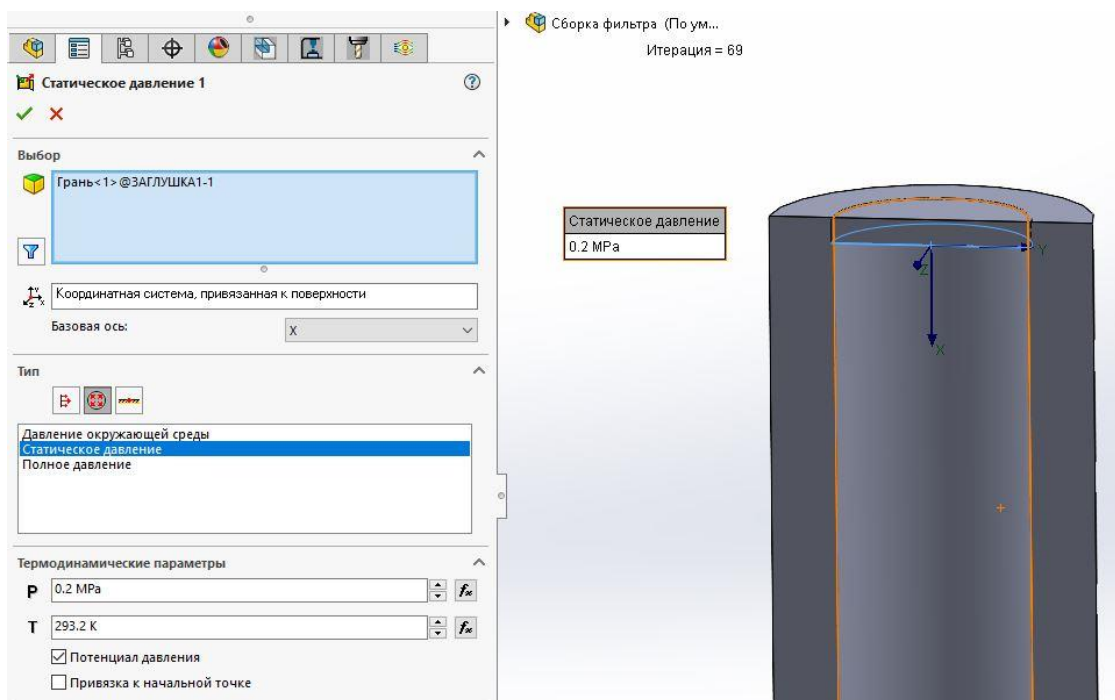


Рисунок 5.2 – Граничні умови на вході

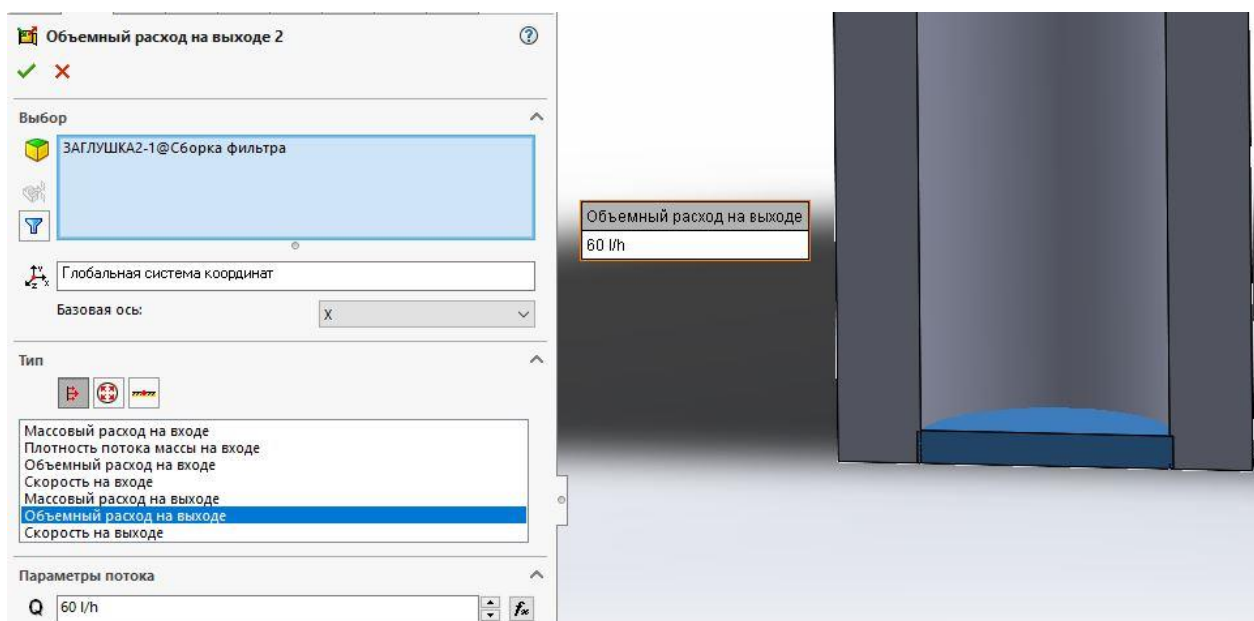


Рисунок 5.3 – Граничні умови на виході

Таблиця 5.2 – Властивості частинок із оксиду цирконію

Назва параметра	Значення
Хімічна формула	SiO ₂
Тип речовини	неорганічне
Зовнішній вигляд	Безбарвні кристали
Колір	—
Смак	—
Запах	—
Агрегатний стан (при 20 °C і атмосферному тиску 1 атм.)	Тверда речовина
Щільність (стан речовини – твердий, при 20 °C), кг/м ³	від 1960 до 2648
Температура кипіння, °C	2950
Температура плавління, °C	1713 (аморфний)
Молярна маса, г/моль	60,0843
Твердість по шкалі Мооса	6

5.1.2 Опис отриманих результатів

Після виконаних розрахунків в CFD отримані наступні результати: Епюра швидкості всередині модулю для мембрани, рис. 5.4.

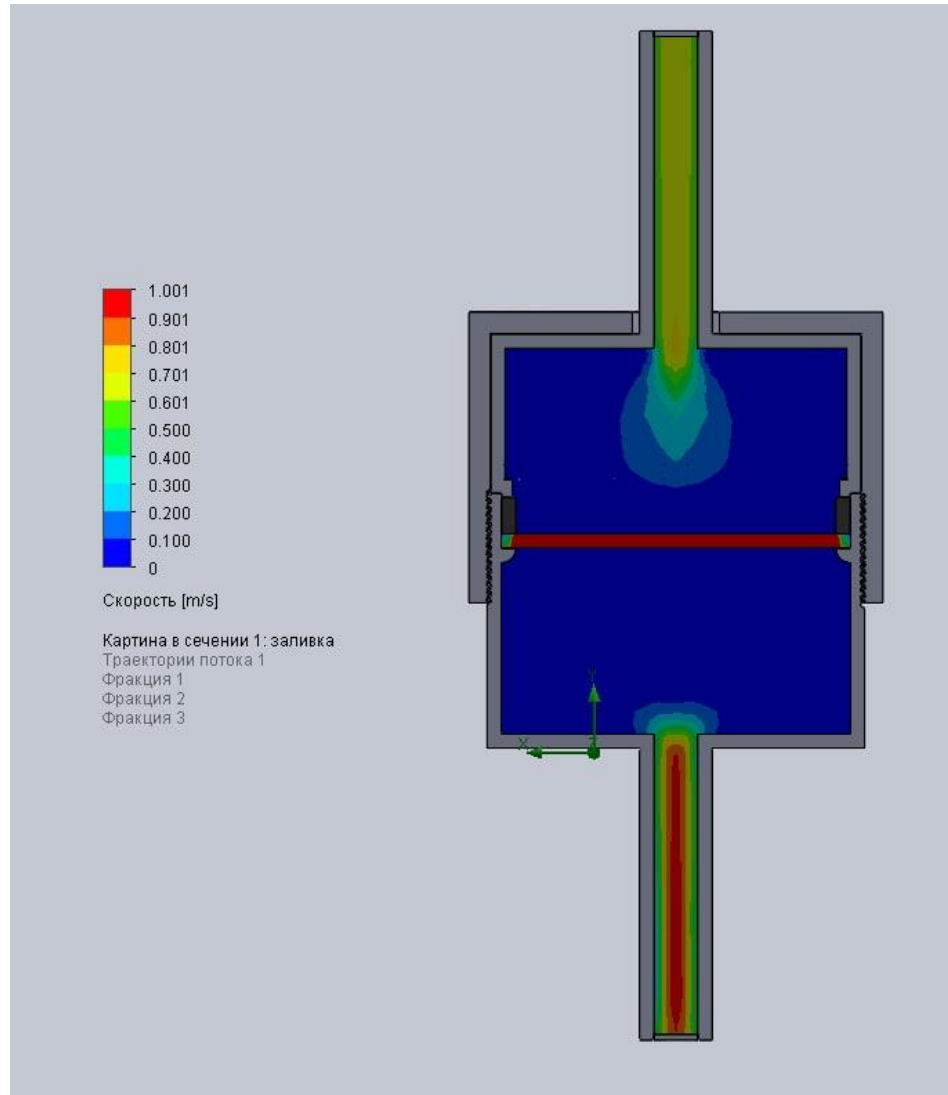


Рисунок 5.4 – Епюра швидкості всередині модуля

Через допоміжну сітку зменшується швидкість потоку. У модулі відбувається зміщення, осідання та налипання частинок на пористі тіла.

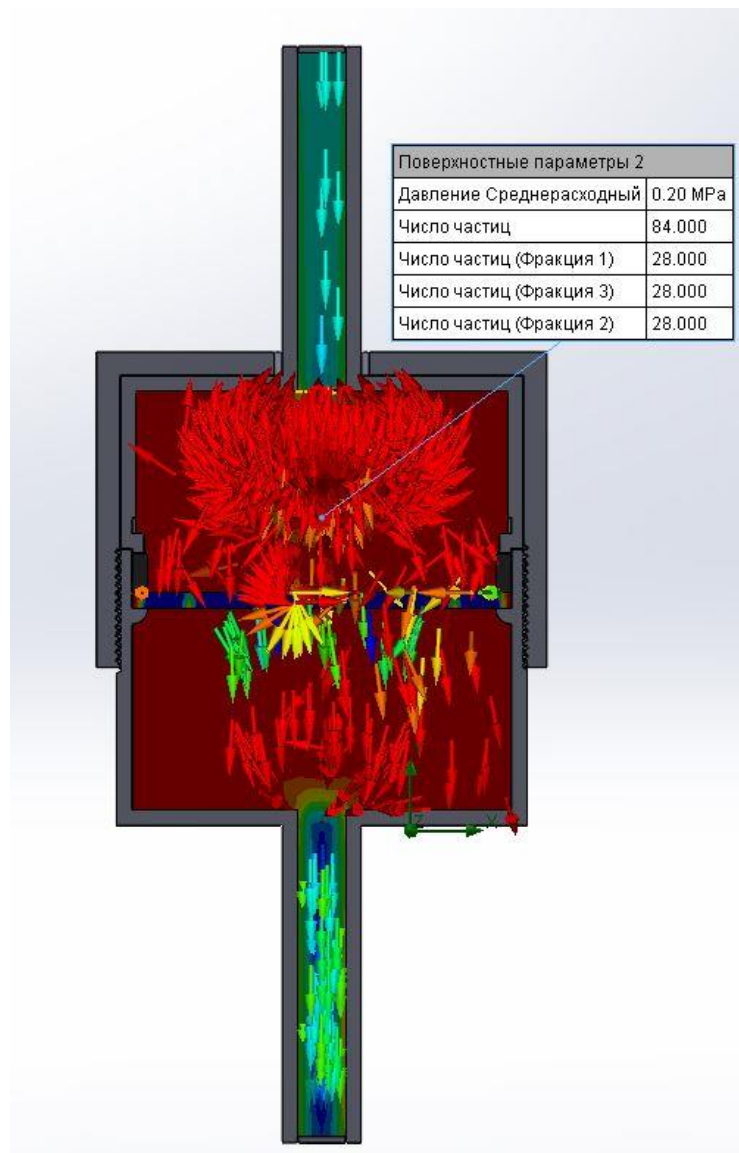


Рисунок 5.5 – Траєкторія руху частинок у модулі

Отримана траєкторія частинок показує, як відбувається зміщення потоку при вхідному параметрі тиску 0.2 МПа. Для симуляції використовувалися частинки розмірами 102, 343 та 270 нанометрів.

5.2 Опис конструкційних змін у системі зворотного осмосу

У конструкцію системи зворотного осмосу додаються кілька елементів
рисунок 5.6.

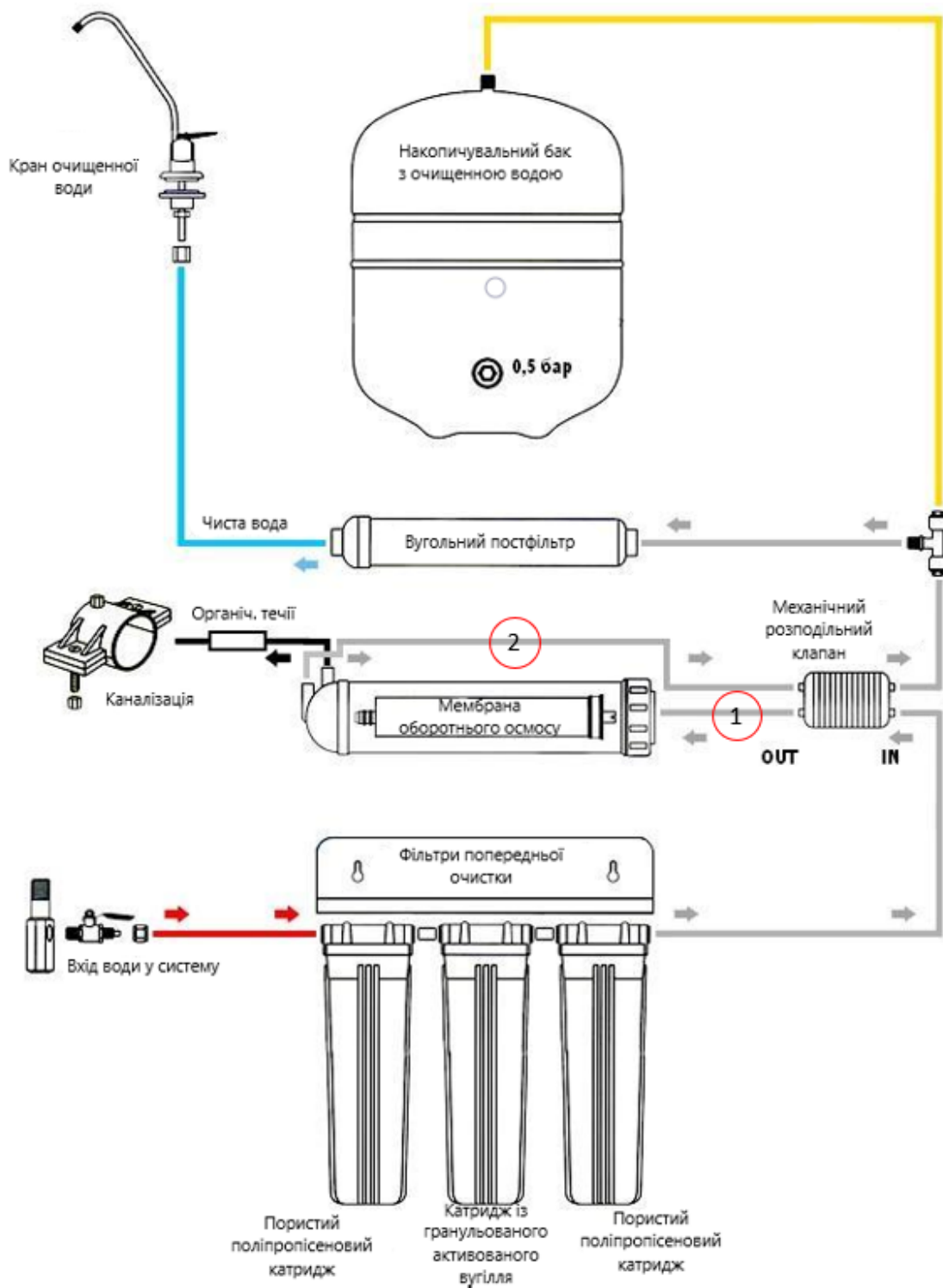


Рисунок 5.6 – Місця додавання нових елементів у систему зворотного осмосу

В конструкцію системи додається модуль UV/Vis спектрометру та MFI виміру.

5.3 Обґрунтування результатів після змін у системі зворотного осмосу

Заміна префільтрів в такій системі осмосу повинна здійснюватися кожні півроку. Для уникнення утворення засмічення мембрани та виведення її, як найдорожчого елементу з ладу, катриджі префільтрації мають бути своєчасно замінені.

Заміна мембрани здійснюється один раз на 1,5–2 роки та проводиться одночасно із заміною усіх супроводжувальних фільтрів.

Заміна постфільтрувального елементу має відбуватися щорічно та збігатися із заміною префільтрів і всіх катриджів.

За допомогою додавання нових модулів у систему, можна буде контролювати ряд проблем описаних у Розділі 1.

Подивимося на отримані результати експериментів:

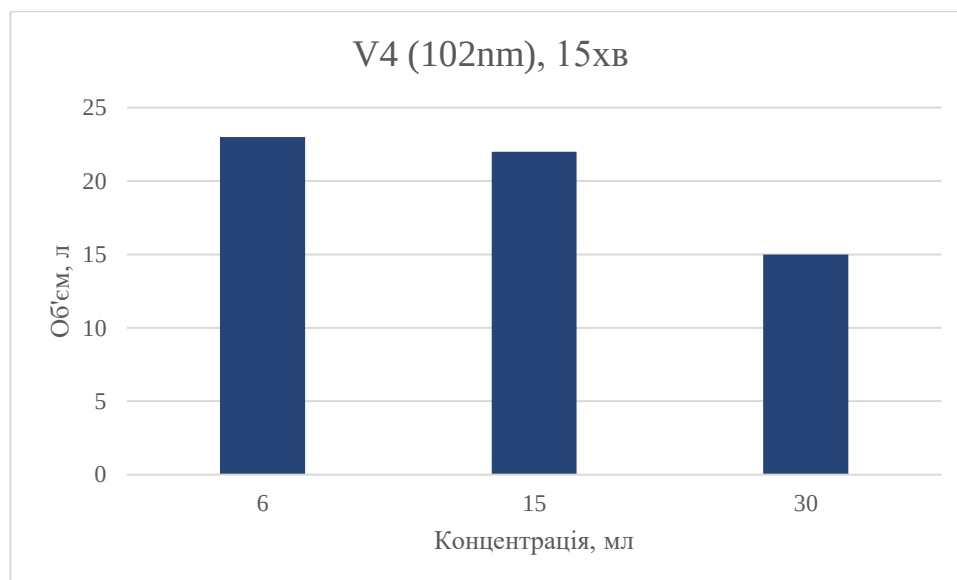


Рисунок 5.7 – Графік витрати води в залежності від концентрації для зразка V4 (102nm) за 15 хвилин

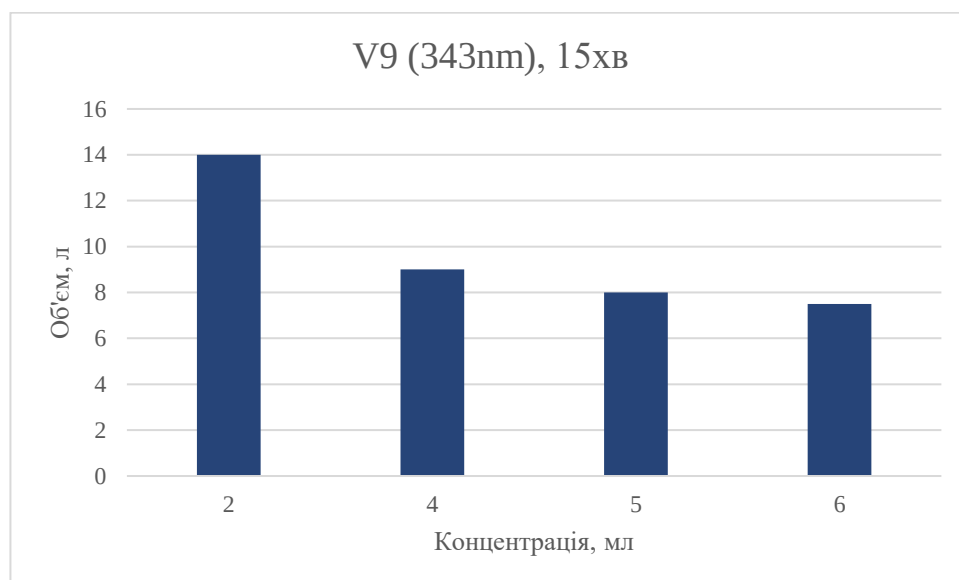


Рисунок 5.8 – Графік витрати води в залежності від концентрації для зразка V9 (343nm) за 15 хвилин

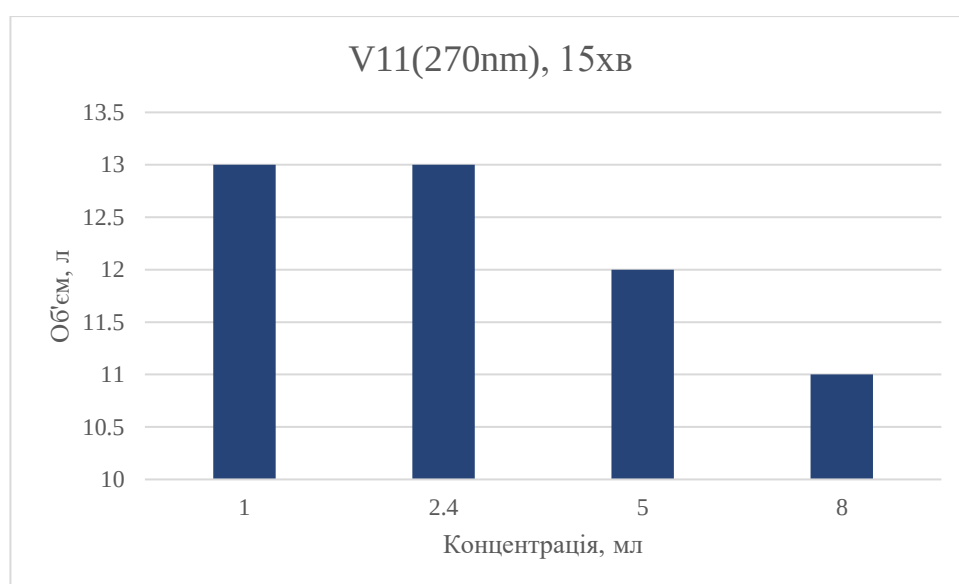


Рисунок 5.9 – Графік витрати води в залежності від концентрації для зразка V11 (270nm) за 15 хвилин

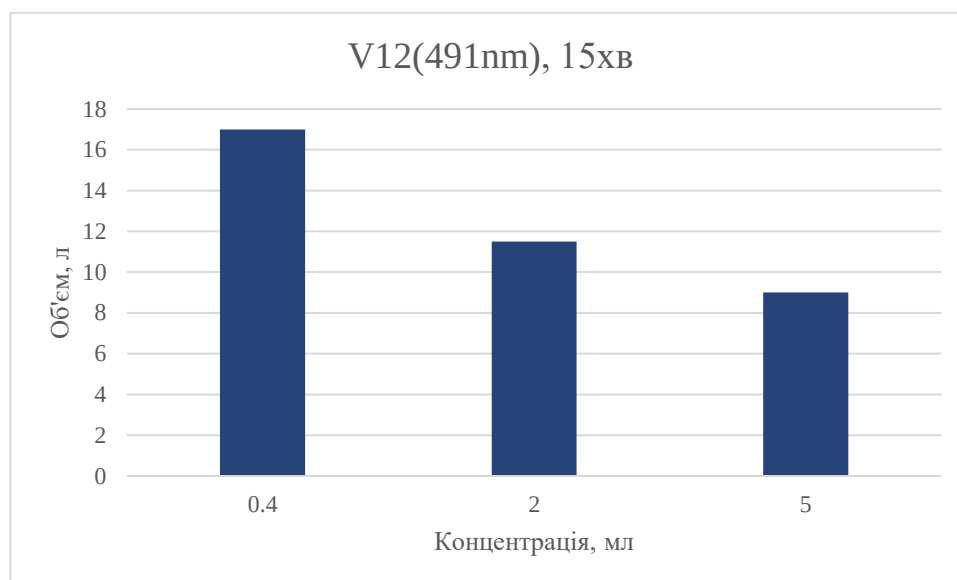


Рисунок 5.10 – Графік витрати води в залежності від концентрації для зразка V12 (491nm) за 15 хвилин

На графіках 5.7 – 5.10 можемо спостерігати, який змінюється об'єм пропускної води в залежності від концентрації частинок. Заміри експерименту тривали 15 хвилин. Враховуючи, що експеримент проходив для ідеально сферичних частинок різних розмірів отримуємо найбільший пропущений об'єм 23 літри та найменший опір (з результатів розділу 4) для зразка V4 з розміром частинок у 102 нм та найменший пропущений об'єм 9 літрів та найбільшого опору для зразка V12 з розміром частинок у 491 нм.

Сенсор для вимірювання забруднення за своєю конструкцією досить простий, і не потребує значних ресурсів за оглядом та станом його роботи. Виконаний аналіз фільтрації при різних розмірах наночастинок показує, наскільки сильно падає ефективність процесу при різних ступенях забруднення фільтруючої суміші, у даному випадку води.

За допомогою розробленого сенсору, опираючись на принцип проведення експериментів та отримані результати, можна контролювати ступінь засмічення мембранного модуля системи, а отже й знати оптимальний термін служби та своєчасне його змінення.

5.4 Висновки та напрями підвищення ефективності

На основі проведених експериментів, та дослідження системи зворотного осмосу, можна запропонувати шлях підвищення ефективності за допомогою встановлення розробленого сенсору.

Основні проблеми виникають лише на основі забруднення мембрани, тобто з сенсором можна визначити оптимальний час для заміни мембранного модулю, що вирішує ряд таких проблем:

- 1) Перепад тиску у системі через забруднення мембрани.
- 2) Зниження потоку пермеату
- 3) Неприємний запах

Також для контролювання інших вузлів, можна теж встановити сенсори на фільтри попередньої очистки та на вугільний постфільтр, що дасть змогу контролювати ступінь їх забруднення та правильно планувати їх заміну.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Ця правила встановлюють вимоги з охорони праці під час експлуатації та ремонту очисних споруд систем водопостачання для підприємств усіх організаційно-правових форм[26]:

1. До роботи з експлуатації та ремонту очисних споруд систем водопостачання допускаються особи, які мають професійну підготовку (у т. ч. з охорони праці), що відповідає характеру робіт, та свідоцтво встановленого зразка про присвоєння кваліфікаційного розряду за професією, які пройшли медичний огляд для визначення відповідності їхнього фізичного стану вимогам, які ставлять перед працівниками цієї професії, інструктаж з охорони праці з урахуванням вимог до персоналу з I групою з електробезпеки, а також додатковий спеціальний огляд, а також додатковий спеціальний інструктаж.
2. Працівники, які мають перерву в роботі за даною спеціальністю більше трьох місяців, проходять перевірку знань з питань охорони праці до початку самостійної роботи.
3. Працівник зобов'язаний:
 - дотримуватися вимог правил внутрішнього трудового розпорядку, посадових інструкцій, інструкцій з охорони праці та інших нормативно-правових актів;
 - виконувати тільки ту роботу, яка визначена завданням безпосереднього керівника;
 - знати санітарно-гігієнічні умови праці та дотримуватися вимог виробничої санітарії;
 - застосовувати безпечні прийоми в роботі;
 - дотримуватися вимог пожежної безпеки, знати сигнали оповіщення та порядок дій під час пожежі, уміти користуватися первинними засобами пожежогасіння і знати місця їх розташування, знати план і шляхи евакуації з робочого приміщення в разі виникнення пожежі;
 - у встановлені строки проходити періодичні медичні огляди;

- проходити перевірку знань з питань охорони праці у відповідній комісії не рідше одного разу на рік;
- брати участь у протиаварійних тренувальних заняттях із застосування засобів індивідуального захисту (далі - ЗІЗ) і приладів контролю повітряного середовища, а також з надання першої допомоги потерпілим від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які проводяться періодично, але не менше одного разу на три місяці (одночасно з повторним інструктажем з охорони праці);
- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також безпеку і здоров'я оточуючих у процесі виконання робіт або під час перебування на території організації;
- негайно повідомляти роботодавця про будь-яку ситуацію, що загрожує життю або здоров'ю працюючих та оточуючих, нещасний випадок, що стався на виробництві; сприяти роботодавцю в ужитті заходів з надання необхідної допомоги потерпілим і доставлення їх до закладу охорони здоров'я;
- знати місцезнаходження аптечки першої допомоги та вміти користуватися її вмістом;
- правильно застосовувати ЗІЗ і засоби колективного захисту;
- дотримуватися правил особистої гігієни: перед прийомом їжі, у перервах, після закінчення роботи мити руки водою з милом; їжу приймати в обладнаних для цих цілей приміщеннях.

4. Не допускається:

- працівникам, які не мають особливих повноважень, видаляти, змінювати або переставляти засоби безпеки та інші пристосування, призначені для захисту їх самих або інших працівників; втручатися в будь-який метод або процес, призначений для профілактики аварій і травматизму (за винятком екстрених випадків);
- експлуатувати або втручатися в експлуатацію виробничого обладнання та установок працівникам, які вони не уповноважені експлуатувати, обслуговувати або використовувати;

- перебувати в стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, а також розпивати спиртні напої, споживати наркотичні засоби, психотропні речовини, їх аналоги, токсичні засоби на робочому місці та в робочий час;
 - спати або відпочивати в приміщеннях, не призначених для відпочинку;
 - палити в невстановлених місцях.
 - мити руки емульсією, гасом, мастилом і витирати їх ганчіркою, забрудненою металевою стружкою.
5. У процесі роботи на працівника можуть впливати такі шкідливі та (або) небезпечні виробничі фактори:
- рухомі частини виробничого устаткування;
 - можливість загазованості резервуарів, відстійників тощо. (далі - технологічні ємності);
 - небезпека падіння та забоїв під час обслуговування та спуску в технологічні ємності для проведення профілактичних і ремонтних робіт;
 - можливість падіння різних предметів на працюючих у технологічних ємностях;
 - небезпека впливу потоку води на тих, хто працює в технологічних ємностях під час виконання профілактичних і ремонтних робіт;
 - підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло працівника;
 - несправність огорожувальних конструкцій (сходів, перехідних містків, огорожувальних кожухів тощо);
 - підвищена запиленість повітря і вибухонебезпечність робочої зони (при роботах з коагулянтами);
 - підвищена вологість повітря;
 - нестача природного світла та освітленості робочої зони.
6. Спеціальні одяг і взуття, інші ЗІЗ видаються працівникові відповідно до Типових галузевих норм безоплатної видачі засобів індивідуального захисту працівникам житлово-комунального господарства[2] залежно від виконуваної роботи (див. таблицю).

Найменування ЗІЗ	Класифікація (маркування) ЗІЗ за захисними властивостями або конструктивними особливостями	Термін носіння в місяцях
Костюм бавовняний	ЗМі	12
Плащ непромокальний з капюшоном	Вн	36
Фартух прогумований	Вн	6
Головний убір		12
Чоботи гумові	В	12
Рукавиці комбіновані	Ми	До зносу
Рукавички гумові	Вн	До зносу
Взимку додатково:		
Куртка бавовняна на утеплювальній прокладці	Тн	36
Штани бавовняні на утеплювальній прокладці	Тн	36
Чоботи кирзові утеплені на гумовій підшві	СлТн30	24

7. У необхідних випадках працівникам, пов'язаним зі спуском у технологічні ємності, безоплатно видаються запобіжні пояси, мотузки, відповідний спецодяг, взуття, у разі потреби - протигази. Зокрема:
- каски для захисту голови від травм, спричинених предметами, що падають, або ударами об предмети чи конструкції;

- окуляри для захисту очей від потрапляння небезпечних хімічних сполук під час роботи з ними (склад зберігання реагентів, хлораторні, приміщення для приготування розчинів);
 - одяг і взуття для захисту тіла і ніг від впливу води і небезпечних хімічних сполук;
 - рукавички і пасти (мазі, креми тощо) для захисту шкіри рук від впливу шкідливих речовин;
 - ізолюючі протигази для захисту органів дихання, зору, шкіри обличчя і голови при виконанні аварійно-рятувальних робіт у непридатній для дихання атмосфері, яка містить хлор і аміак;
 - протипилові респіратори для захисту органів дихання під час роботи з активованим вугіллям та іншими пилоподібними матеріалами (склади зберігання реагентів і приміщення для приготування розчинів);
 - запобіжні пояси з наплічними лямками для страховки та екстреної евакуації працюючого в ємностях, резервуарах та інших замкнутих просторах у разі отруєння газом.
8. Працівники, які виконують газонебезпечну роботу в ємкісних спорудах, забезпечуються взуттям без сталевих підковок і цвяхів.
 9. Спецодяг піддається своєчасному догляду (пранню, дезінфекції, заміні змінних елементів, ремонту тощо).
 10. Протигази, страховальні пояси та інші ЗІЗ піддаються регулярним випробуванням і перевірці справності згідно з установленими строками. За результатами випробувань і перевірок складаються відповідні протоколи, на ЗІЗ робиться відмітка (бирка, штамп тощо) про терміни наступного випробування.
 11. Працівник має право відмовитися від виконання дорученої роботи у разі незабезпечення відповідними ЗІЗ, передбаченими конкретним переліком організації, а також від виконання роботи в разі виникнення безпосередньої небезпеки для життя і здоров'я його або оточуючих до її усунення.

12. Працівник, який не виконує вимоги з охорони праці, притягується до відповідальності в порядку, встановленому законодавством.
13. Перед початком роботи перевірити наявність і справність ЗІЗ, надіти спеціальний одяг і взуття, які відповідають майбутній роботі. Одяг заправити так, щоб не було вільно звисаючих кінців, застебнути манжети.
14. Оглянути і підготувати робоче місце, прибрати сторонні предмети.
15. Переконатися в достатньому освітленні робочого місця.
16. Перевірити справність інструменту і пристосувань.
17. При виконанні профілактичних і ремонтних робіт, пов'язаних зі спуском у технологічні ємності, перед початком робіт:
 - отримати у керівника робіт змінне завдання (наряд-допуск);
 - пройти цільовий інструктаж;
 - перевірити наявність і підготувати інструменти, необхідні матеріали та запасні частини, а також перевірити справність ЗІЗ, пристосувань та інвентарю для забезпечення безпечного ведення конкретного виду робіт (газоаналізаторів, протигазів, акумуляторних ліхтарів, вентилуючих пристроїв, попереджувальних знаків безпеки, табличок тощо);
 - перевірити наявність і комплектність засобів, необхідних для надання першої допомоги;
 - установити огорожувальні конструкції, попереджувальні знаки безпеки і таблички, тимчасові перехідні містки і драбини; після перерв у роботі перевірити їх справність і правильність установлення;
 - перед спуском у підземні споруди переконалися у відсутності їх загазованості (для чого використовувати лампу-газоаналізатор), а також у міцності скоб або стаціонарних драбин.
18. Про всі виявлені недоліки доповісти безпосередньому керівнику. До роботи приступати тільки після їх усунення.
19. Під час виконання робіт на складах реагентів необхідно:
 - мати в наявності перелік сумісності хімічних речовин, що використовуються у виробничому процесі, затверджений наймачем;

- розвантажувати реагенти з транспортних засобів (вагонів, автомобілів) механізованим способом з дотриманням заходів, що виключають їх розлив, розпилення і виділення в атмосферу;
 - зберігати на складі кількість реагентів, що не перевищує 30-добового запасу, розрахованого за періодом максимального їхнього споживання, але не меншу за обсяг їхньої разової поставки;
 - не допускати зберігання в одному приміщенні реагентів, які можуть хімічно взаємодіяти між собою, а також зберігати вибухові та вогнебезпечні речовини, харчові продукти тощо;
 - розвантаження, складування і переміщення реагентів усередині складу, завантаження в пристрої для приготування розчинів проводити механізованим способом під наглядом спеціально призначеної і проінструктованої особи;
 - зберігати реагенти у відповідній тарі та встановленому для кожного їх виду порядку з метою виключення шкідливого впливу на людей.
20. Зважувати хлорне вапно і готувати вапняний розчин у протигазах.
21. Під час роботи з активним і порошкоподібним вугіллям та іншими пилоподібними матеріалами користуватися протипиловими респіраторами.
22. Під час роботи з коагулянтном і вугільним порошком:
- дозування в сухому вигляді допускати тільки за наявності дозувальних механізмів і виконання заходів щодо запобігання запиленню матеріалів;
 - під час розчинення коагулянту і перемішування його в баках шляхом барботажу не перевищувати тиск стисненого повітря понад 0,5 атм. При цьому слід передбачити пристрій, що унеможливило викид розчину з бака або його розбризкування;
 - баки з мішалками з електроприводом у разі їх використання для розчинення коагулянту повинні мати завантажувальні люки з кришкою, що запобігає потраплянню бризок на оператора.
23. Під час роботи з реагентами, що містять фтор, сірчистий газ і його розчини, які є отруйними речовинами, дотримуватися вимог, які висуваються під час роботи із сильнодіючими отруйними рідинами.

24. Під час робіт, пов'язаних зі спуском операторів у технологічні ємності, бригада повинна складатися не менш як із трьох осіб: одна працює в ємності, друга - на поверхні, третя спеціально спостерігає за роботою в ємності та в разі виникнення аварійної ситуації надає допомогу операторові, який перебуває в ній.
25. Спостерігача не допускається відволікати на інші роботи до виходу того, хто працює в ємності на поверхню.
26. Зі складу працюючих призначається особа, відповідальна за безпеку проведення робіт.
27. Під час проведення робіт у технологічних ємностях за нестачі природної вентиляції необхідно забезпечити приплив свіжого повітря за рахунок організації примусової вентиляції.
28. Не допускається спускатися в підземні комунікації і виконувати в них роботи без перевірки їх на загазованість, а також без запобіжного поясу з фалом і протигаза (в деяких випадках).
29. У процесі роботи необхідний постійний контроль за повітряним середовищем за допомогою лампи-газоаналізатора.
30. Роботи з перевірки положення гравійних шарів щупом під час промивання фільтрувальних споруд виконують два працівники, забезпечені запобіжними поясами з мотузками, з використанням тимчасових перехідних містків з поруччями заввишки не менше 1,0 м.
31. Устаткування, що використовується для експлуатації та ремонту очисних споруд системи водопостачання, зважаючи на підвищену вологість довкілля, повинне відповідати вимогам, які ставляться до його роботи в таких умовах, щоб уникнути ураження електрострумом працівників, які його обслуговують.
32. Під час ремонту і профілактичного обслуговування технологічні ємності звільняються від води і вживаються заходи, що виключають їх довільне наповнення.
33. Проводити ремонтні роботи та усунення дефектів на трубопроводах, які перебувають під тиском, не допускається.

34. При перервах у роботі під час виконання змінного завдання з ремонту або профілактичного обслуговування на конкретному об'єкті необхідно:
- знеструмити механізми та електрифікований інструмент, що використовувалися;
 - упорядкувати робоче місце, закрити люки і прорізи;
 - оглянути місця тимчасового зберігання конструкцій і устаткування, вживши необхідних заходів, що запобігають обваленню штабелів і окремих елементів;
 - перевірити стан огороження, попереджувальних плакатів, за необхідності привести їх у справний стан;
 - перевірити наявність, справність пристосувань та інвентарю, привести їх у робочий стан і помістити в спеціально відведене місце;
 - доповісти про виконання змінного завдання керівнику робіт.
35. При роботах у місцях, де можуть скупчуватися вибухонебезпечні гази, для освітлення використовувати переносні світильники у вибухозахищеному виконанні.
36. Не допускається робота з несправним і зношеним інструментом.
37. Після закінчення робіт необхідно:
- знеструмити механізми, що використовувалися, та електрифікований інструмент;
 - упорядкувати робоче місце, закрити люки і прорізи;
 - перевірити наявність, справність пристосувань та інвентарю, привести їх у робочий стан і помістити в спеціально відведене місце;
 - доповісти керівнику робіт про виконання змінного завдання;
 - після закінчення робіт з реагентами вимити руки, змастити їх гліцерином, протерти очі ватним тампоном, змоченим дистильованою водою, за необхідності прийняти душ;
 - ретельно вимити обличчя і руки теплою водою з милом, за можливості прийняти душ;

- переодягнутися; спеціальний одяг і взуття, інші ЗІЗ прибрати в установлені для їхнього зберігання місця або передати на прання та дезінфекцію в централізованому порядку.
38. Повідомити безпосереднього керівника про всі несправності, що виникли під час роботи, і про заходи, вжиті до їх усунення.
39. У разі виникнення в процесі виконання робіт з експлуатації та ремонту споруд системи водоочищення умов, що загрожують життю і здоров'ю працівників (таких як загоряння і вибух складів реагентів; аварійне затоплення технологічних ємностей під час знаходження у них працюючих; падіння працівника в технологічні ємкості; падіння на працівників, які перебувають у технологічних ємкостях, інструментів, устаткування або сторонніх предметів; ураження оператора електрострумом) роботи негайно припиняються.
40. У разі пожежі:
- за необхідності відключити електрообладнання;
 - повідомити про пожежу в аварійно-рятувальний підрозділ за тел. 101 або 112, при цьому назвати адресу і місце виникнення пожежі, шляхи під'їзду і своє прізвище;
 - доповісти про те, що трапилося, безпосередньому керівнику;
 - вжити заходів щодо евакуації осіб, які перебувають у небезпечній зоні;
 - приступити до гасіння наявними засобами пожежогасіння. Полум'я в електроустановках слід гасити вуглекислотними або порошковими вогнегасниками, азбестовими покривалами і піском;
 - зустріти аварійно-рятувальний підрозділ, який прибув, вказати місця загоряння, можливого перебування людей, шляхи підходу та евакуації, розташування пожежних гідрантів, кранів, електророзподільних пристроїв, а також зберігання вибухо- і пожежонебезпечних матеріалів.
41. Працівник не повинен залишати робоче місце без дозволу керівника ліквідації аварії до повного її усунення.
42. При кожному нещасному випадку, очевидцем якого став працівник, він зобов'язаний негайно:

- вжити заходів щодо звільнення потерпілого від впливу травмувального фактора;
 - надати потерпілому першу допомогу, викликати лікаря або допомогти доставити потерпілого до закладу охорони здоров'я;
 - забезпечити збереження обстановки на момент аварії або нещасного випадку, якщо це не становить небезпеки для життя і здоров'я оточуючих; в іншому випадку (існує загроза життю та здоров'ю оточуючих, зупинки безперервного виробництва) зафіксувати її шляхом складання схеми, протоколу, фотографування або іншим методом;
 - повідомити про те, що трапилося, безпосереднього керівника.
43. Для звільнення потерпілого від дії струму необхідно відключити струмоведучі частини або дроти, яких він торкається, або (за неможливості відключити електроустановку для відділення потерпілого від струмоведучих частин напругою до 1000 В) вжити заходів власної безпеки. Потерпілого в суху погоду однією рукою відтягнути за частини одягу, які не прилягають до тіла (рукав, поли костюма тощо) або відвести струмоведучу частину предметом-ізолятором (сухою дошкою). Ізолювати себе від дії струму можна, ставши на суху дошку, діелектричний килимок або надівши діелектричні рукавички.
44. Якщо нещасний випадок стався з самим працівником, він повинен за можливості звернутися по медичну допомогу, повідомити про те, що трапилося, безпосереднього керівника або попросити зробити це кого-небудь з оточуючих.
45. Поновлювати роботу слід тільки після усунення причин, що призвели до аварійної ситуації та нещасного випадку, і з дозволу безпосереднього керівника.

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання магістерської роботи за темою «Розробка заходів з підвищення ефективності системи зворотного осмосу для очищення води» виконано та проаналізовано наступні питання.

Наведено, основні питання однієї із поставлених задач виробництва – вирішення проблеми очистки фільтраційних мембран. Поставлені питання були вирішені в якості аналізу, обґрунтування та пошуку шляхів підвищення ефективності роботи обладнання.

Виконано аналіз процесу фільтрації на основі синтезованих власноруч наночастинок, а також розглянуто основні проблеми процесу та обладнання для виконання поставлених задач.

В роботі було проведення експериментів із визначенням взаємозв'язку параметрів вимірювання світла та модифікованого індексу замулення.

Були проведенні експерименти по синтезуванню наночастинок потрібного розміру та фільтрації різних об'ємів різних наночастинок для виявлення ступені забрудненості мембрани наночастинами та допустимий пропускний об'єм фільтрату при різних параметрах суміші.

Для кожного експерименту отримано значення поглинання світла та індексу замулення. При підведенні результатів також було виявлено, як змінюється кількість прохідного фільтрату зі зміною розміру частинок та їх концентрації у водному середовищі.

Таким чином додаючи цей сенсор до системи зворотного осмосу ми, отримуючи інформацію, маємо змогу контролювати ступінь засмічення мембранного модулю, а отже й оптимізуємо час його заміни, що надає нам можливість збільшити КПД системи у кілька разів.

Серед можливих методів підвищення ефективності роботи системи зворотного осмосу, було запропоновано встановлювати такий сенсор в усіх фільтрувальних вузлах системи для контролювання втрат тиску унаслідок їх засмічення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Фрогг и Лепченко «Водоподготовка» 1996г
2. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды. 2004г
3. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология: Учеб. для техникумов. — М.: Стройиздат, 1995
4. Кутолин С.А., Писиченко Г.М. Химия и микробиология воды. — Новосибирск, 2002
5. J.G. WIJMANS FLUX LIMITATION IN ULTRAFILTRATION: OSMOTIC PRESSURE MODEL AND GEL LAYER MODEL, / S. NAKAO and C.A. SMOLDERS // Department of Chemical Technology, Twente University of Technology, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede (The Netherlands) Journal of Membrane Science, 20 (1984) 115-124
6. M.C. Martí-Calatayud, Interplay between physical cleaning, membrane pore size and fluid rheology during the evolution of fouling in membrane bioreactors / S. Schneider, S. Yüce, M. Wessling // Water Research 147 (2018)
7. J. Lohausa, What are the microscopic events of colloidal membrane fouling? / Y.M. Perez, M. Wessling, b // Journal of Membrane Science
8. Pierre Le-Clech * ,. Fane Review Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment / Vicki Chen, Tony A.G // UNESCO Centre for Membrane Science and Technology, School of Chemical Engineering, The University of New South Wales, Sydney 2052, NSW, Australia Journal of Membrane Science 284 (2006) 17–53
9. Ajit Jillavenkatesa, Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment / Stanley J. Dapkunas Lin-Sien H. Lum, In-Soung Chang; Pierre Le Clech; Bruce Jefferson; and Simon Judd // Special Publication 960-1
10. G. G. Chase, E. Mayer: Filtration, “Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology”, / G. G. Chase, E. Mayer // 5th ed., vol. 11, p. 321– 397, John Wiley & Sons, Hoboken, 2005
11. K. Sutherland: A-Z of Filtration and Related Separations, 1st ed., Elsevier, Oxford 2005.

- 12.K. Sutherland: Filters and Filtration Handbook, 5th ed., Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam 2008.
- 13.R. J. Wakeman, E. S. Tarleton: Solid/liquid Separation, 1st ed., Elsevier, Oxford 2005.
- 14.Gosele Christian Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry / Gosele Christian, Siegfried Ripperger, Walter Alt //
- 15.Фоулінг і хімія для мембран [Електронний ресурс] URL <https://ecosoft.ua/ua/blog/fouling-i-khimiya-dlya-membran>.
- 16.Salome Maria Katharina Wolf Synthese und Charakterisierung von Siliziumdioxid-Nanopartikeln mit einem modifizierten Stöber-Verfahren
- 17.Theoretical aspects of hydrologic optics , Can the Lambert-Beer law be applied to the diffuse attenuation coefficient of ocean water? Limnol. Oceanogr., 34(8), 1989, 1389-1409, 1989, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- 18.Werner Mänteles, UV–VIS absorption spectroscopy: Lambert-Beer reloaded / Werner Mänteles *, Erhan Deniz // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Volume 173, 15 February 2017, Pages 965-968
- 19.Partica LA-960 Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer [Електронний ресурс] URL <https://www.horiba.com/int/scientific/products/detail/action/show/Product/partica-la-960-991/>
- 20.Analytik Jena GmbH, Operating Manual SPECORD S 600 UV/Vis Spectrophotometer
- 21.Tutorials solidworks flow simulation, 2018. – 304 с.
22. MATLAB. The Language of Technical Computing. Using MATLAB. The Math Works, Inc. USA, 2000.
- 23.MATLAB. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. The Math Works, Inc. USA, 2000.
- 24.Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: Учебный курс.

– СПб.: Питер; Киев: Изд. группа BHV, 2005.

25. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768

26. Охорона праці при експлуатації та ремонті водяних очищувальних систем

[Електронний ресурс] <https://ohranatruda.of.by/instruktsiya-po-okhrane-truda-pri-ekspluatatsii-i-remonte-ochistnykh-sooruzhenij-sistem-vodosnabzheniya.html>

ДОДАТОК А

Перелік зауважень нормоконтролера до кваліфікаційної роботи
студента групи ТПМм-21а Станіслава СТОВБУРОВА.

Позначення документа	Документ	Умовна відмітка	Зміст зауваження

Науковий керівник

(підпис, дата)

Андрій ТОПОРОВ

(ПІБ)

Нормоконтролер

(підпис, дата)

Олена КОСТІНА

(ПІБ)

Завідувач кафедри

(підпис, дата)

Євген ЗБИКОВСЬКИЙ

(ПІБ)